

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DEL NORTE
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil



Proyecto de grado para optar por el título de
Magíster en Ingeniería Civil

**MODELACIÓN DE LA DEMANDA DE VEHÍCULOS COMERCIALES
ALIMENTADOS CON FUENTES DE ENERGÍA ALTERNATIVA**

Presentado por:

Janer José Galván Carbonó

Directores:

Víctor Cantillo Maza. I.C., M.Sc., Dr. Ing.

Julián Arellana Ochoa. I.C., M.Ing., Dr. Ing.

Barranquilla, febrero de 2016

MODELACIÓN DE LA DEMANDA DE VEHÍCULOS COMERCIALES ALIMENTADOS CON FUENTES DE ENERGÍA ALTERNATIVA

JANER JOSÉ GALVÁN CARBONÓ

Tesis presentada al comité conformado por:



BARRANQUILLA, FEBRERO DE 2016

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar un agradecimiento sincero a Víctor Cantillo Maza por sus consejos, su apoyo permanente y en general por su invaluable labor como director de este proyecto de tesis.

Igualmente expreso un inmenso agradecimiento a Julián Arellana Ochoa, codirector de tesis, por su guía, por su decisivo apoyo en la etapa de modelación de este proyecto y por estar siempre dispuesto a atender todas las inquietudes.

Agradezco al programa Joven Investigadores e Innovadores de COLCIENCIAS, por haber apoyado esta investigación a través del contrato RC-0791-2013, a la Universidad del Norte, al programa de Ingeniería Civil y Ambiental y al grupo de investigación TRANVÍA.

Agradezco de forma especial a mi esposa, a mis padres y mis hermanas, por el amor que ha sido el pilar fundamental de nuestra unión, y este ha sido el principal soporte y motor de mi vida. Todo es posible gracias a ustedes.

A los grandes amigos que son para toda la vida, con quienes he compartido muchos momentos inolvidables, y han hecho esta experiencia única.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Objetivos	4
1.2. Hipótesis de investigación.....	5
1.3. Contribuciones.....	5
1.4. Estructura del documento.....	5
2. ANTECEDENTES	6
2.1. Modelos de elección discreta	6
2.2. Modelación híbrida con variables latentes	8
2.3. Tecnologías alternativas de propulsión vehicular	10
2.4. Contexto del transporte público de pasajeros y carga en Colombia	15
2.5. Mercado de combustibles en Colombia	17
3. DATOS E INSTRUMENTO.....	21
3.1. Metodología.....	21
3.2. Instrumento.....	22
3.3. Datos	29
4. ESPECIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN DE MODELOS	37
4.1. Modelos para camiones.....	37
4.2. Modelos para buses.....	39

4.3.	Modelos combinando datos de buses y camiones	41
4.4.	Modelo de elección híbrido	43
5.	ANÁLISIS	54
5.1.	Simulación de cuotas de mercado.....	54
5.2.	Elasticidades	60
5.3.	Tasas marginales de sustitución	62
6.	CONCLUSIONES	64
7.	REFERENCIAS	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Distribución de clases de vehículos por tipo de combustible	20
Tabla 2 Atributos considerados en el experimento de PD	26
Tabla 3 Atributos y niveles utilizados en el experimento de PD de buses	27
Tabla 4 Atributos y niveles utilizados en el experimento de PD de camiones	28
Tabla 5 Caracterización de los encuestados	29
Tabla 6 Resultados del numeral II.5 de la encuesta sobre características de la empresa.....	30
Tabla 7 Número de elecciones por alternativa de propulsión	35
Tabla 8 resultados de los modelos de camiones	38
Tabla 9 Resultados de los modelos de buses.....	40
Tabla 10 resultados de los modelos conjuntos de buses y camiones.....	42
Tabla 11 variables incluidas en el modelo híbrido MVL1	45
Tabla 12 variables incluidas en el modelo híbrido MVL2	46
Tabla 13 Categorías de indicadores ajustados.....	46
Tabla 14 resultados de los modelos híbridos.....	48
Tabla 15 Resultados de ecuaciones estructurales	50
Tabla 16 Resultado de ecuaciones de medición del modelo MVL1.....	51
Tabla 17 Resultado de ecuaciones de medición del modelo MVL2.....	52
Tabla 18 Valores de referencia de los atributos utilizados para simular cuotas de mercado de buses	54

Tabla 19 Valores de referencia de los atributos utilizados para simular cuotas de mercado de camiones tipo C2G	57
Tabla 20 Elasticidades directas y cruzadas respecto a diferentes atributos del modelo de elección de buses	61
Tabla 21 Elasticidades directas y cruzadas respecto a diferentes atributos del modelo de elección de camiones	62
Tabla 22 Tasas marginales de sustitución de los atributos con respecto al costo de compra de buses y camiones.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Variables latentes y modelos de elección discreta.....	8
Figura 2. Consumo histórico energético en Colombia.....	17
Figura 3 Consumo de combustibles en transporte carretero	18
Figura 4: Consumo de biocombustibles en Colombia	19
Figura 5: Consumo anual de gas natural vehicular (GNV) en millones de pies cúbicos día	19
Figura 6 Primera sección de encuesta de camiones	23
Figura 7 Primera sección de encuesta de buses	24
Figura 8 Primera parte de indicadores de percepción	24
Figura 9 Segunda parte de indicadores de percepción.....	25
Figura 10 Situación típica de elección de PD para buses.....	27
Figura 11 Situación típica de elección de PD para camiones.....	28
Figura 12 Izquierda: posesión de camiones por tipo. Derecha: posesión de buses por tipo	30
Figura 13 Resultados de la parte final de la sección de características de la empresa, para empresarios de buses.....	31
Figura 14 Resultados de la parte final de la sección de características de la empresa, para empresarios de camiones.....	31
Figura 15 Características más importantes al momento de comprar un bus nuevo.....	32
Figura 16 Características más importantes al momento de comprar un camión nuevo.....	33
Figura 17 Respuestas de empresarios de buses y de camiones sobre grado de acuerdo o desacuerdo con los indicadores de percepción presentados.....	34

Figura 18 Estructura del modelo híbrido MVL1	44
Figura 19 Estructura del modelo híbrido MVL2	45
Figura 20 Variación de la demanda con respecto al costo del bus diésel	55
Figura 21 Variación de la demanda con respecto al costo del bus GNC	55
Figura 22 Variación de la demanda con respecto al costo del bus eléctrico	56
Figura 23 Variación de la demanda con respecto al costo del bus híbrido	56
Figura 24 Variación de la demanda en función de la variación del costo del diésel	57
Figura 25 Variación de la demanda respecto al costo del camión GNC.....	58
Figura 26 Variación de la demanda respecto al costo del camión eléctrico	59
Figura 27 Variación de la demanda respecto al costo del camión híbrido.....	59

RESUMEN

La operación de los sistemas de transporte público de carga y pasajeros está estrechamente ligada a la quema de combustibles fósiles, especialmente diésel. Este consumo de carburantes implica la generación de gases de efecto invernadero como CO₂ y NO_x, así como la generación de material particulado. Tales emisiones hacen parte de las externalidades asociadas a la operación de los servicios de transporte.

El desarrollo de tecnologías de propulsión vehicular más limpias para buses y camiones ha generado la necesidad de estudiar la demanda por estas alternativas para lograr una caracterización del mercado y así formular propuestas que permitan la incursión de estas tecnologías buscando un uso racional y eficientemente la energía y a su vez mitigar el impacto nocivo causado al medio ambiente mediante la reducción de la huella de carbono asociada a la operación de camiones.

En desarrollo de la investigación, se diseñaron y aplicaron encuestas de preferencias declaradas (PD) donde se involucraron las siguientes variables: costo de adquisición del vehículo, costo por consumo de combustible, disponibilidad de estaciones de recarga de combustible, potencia útil y autonomía. Además del combustible diésel, las fuentes de propulsión vehicular presentadas en el experimento de PD son gas natural, energía eléctrica y tecnologías híbridas (diésel-eléctrico). También se indagó por la apreciación de políticas relacionadas con el mercado de combustibles en el país, por posiciones frente a problemas medioambientales y por la percepción sobre los costos asociados a los combustibles y las tecnologías vehiculares de transporte comercial, obteniendo una serie de indicadores que se incorporarán en la modelación.

El estudio se llevó a cabo en las principales ciudades de Colombia, en las cuales se aplicaron encuestas a propietarios de vehículos de transporte público de pasajeros y de carga. A cada propietario o empresario, se le presentaron doce escenarios hipotéticos de elección, donde debía escoger entre las fuentes de propulsión vehicular evaluadas, teniendo en cuenta los atributos involucrados en el diseño experimental.

Se especificaron y estimaron modelos de elección discreta para evaluar la demanda por vehículos con tecnologías limpias para transporte de servicio público urbano y de carga. El análisis involucró además modelos híbridos de elección incorporando variables latentes relacionadas con las percepciones sobre preocupación ambiental y maximizar utilidad de la firma.

Específicamente se encontró que entre los atributos evaluados, los de mayor interés al momento de hacer la compra de un vehículo nuevo son el costo de compra y el costo por consumo de combustible. En otras palabras, los encuestados se preocupan en mayor medida por los costos de inversión inicial y el costo operacional. Este es un resultado esperado, si se considera que los individuos objeto de este estudio evalúan sus decisiones bajo criterios de rentabilidad económica, ya que para ellos los vehículos son un insumo de producción y no un bien de uso personal.

Otros factores como la potencia útil que puede ofrecer una alternativa de propulsión, así como la autonomía, al momento de elegir un vehículo propulsado por gas natural o energía eléctrica, también resultaron relevantes. Entretanto, la disponibilidad de estaciones de recarga de combustible solo fue significativa para los empresarios de transporte interurbano.

Con base en los resultados obtenidos se concluyó que las estructuras de elección de los propietarios de buses y de camiones difieren entre sí en algunos aspectos particulares, lo cual es comprensible teniendo en cuenta que las condiciones de operación de los servicios de transporte de carga y de pasajeros son diferentes.

Se puede concluir a su vez, que los encuestados manifiestan que el uso de vehículos con tecnologías limpias es importante para la conservación del medio ambiente, pero consideran que para hacer una inversión en ese sentido requieren de apoyo gubernamental, a través de subsidios o beneficios tributarios.

Palabras clave: buses, camiones, vehículos comerciales, fuentes energéticas, modelos de demanda, modelación híbrida, variables latentes.

1. INTRODUCCIÓN

La operación de los sistemas de transporte está estrechamente ligada al desarrollo económico y social de un país. En particular, en Colombia el transporte público de pasajeros y el transporte terrestre de carga representan una cuota importante de la actividad de transporte nacional (Ministerio de Transporte, 2011), notando que los combustibles fósiles han sido utilizados tradicionalmente como la principal fuente de energía para la propulsión de los vehículos de transporte terrestre de carga y pasajeros, con un claro predominio del combustible diésel (UPME 2012). Esta particularidad del transporte es una constante a nivel mundial.

Con el propósito de usar racional y eficientemente la energía y mitigar el daño al medio ambiente por medio de la reducción de la huella de carbono asociada a la operación de vehículos comerciales, se han desarrollado vehículos de transporte de pasajeros y carga propulsados por fuentes de energía eléctrica, gas natural comprimido (GNC), gas licuado de petróleo (GLP), hidrógeno, biodiesel, entre otras fuentes energéticas alternativas. A pesar de la existencia de estas tecnologías, que pueden ser más limpias que las convencionales, el costo de los equipos tradicionales diésel es más bajo que el de aquellos con fuentes alternativas y, además, éste combustible sigue siendo relativamente barato, por lo que los vehículos que utilizan energías más limpias no han sido acogidos ampliamente por los empresarios del transporte comercial.

El establecimiento de políticas para incentivar el uso de tecnologías limpias en operaciones comerciales de carga y de pasajeros requiere entender el comportamiento de los empresarios frente al problema de elegir un vehículo nuevo. En esta línea, en la presente investigación se desarrollaron modelos para estimar la demanda de buses y camiones que funcionan con tecnologías de propulsión alternativas, confrontando con los comúnmente utilizados equipos diésel. Estos modelos fueron estimados a partir de información proveniente de encuestas aplicadas a empresarios y propietarios de vehículos comerciales en Colombia, con el propósito de determinar cuáles son las alternativas energéticas de mayor aceptación y las variables que definen comportamiento de la demanda.

Los resultados de esta investigación permiten comprender la estructura de toma de decisiones de los propietarios de vehículos comerciales al momento de adquirir un vehículo nuevo. Esta información reviste gran importancia al momento de plantear políticas tendientes a estimular la demanda por tecnologías vehiculares amigables con el medio ambiente en el sector de empresarios del transporte.

La novedad de esta investigación está relacionada con el estudio de la demanda por vehículos que usan combustibles alternativos en el sector del transporte público y de carga, teniendo en cuenta que la mayor parte de la investigación en esta línea se ha enfocado a vehículos de uso particular. A su vez, se estimaron modelos de elección discreta incluyendo el efecto de variables latentes mediante técnicas de modelación híbrida. Este tipo de estudios resulta útil para empresas comercializadoras de vehículos con tecnologías alternativas para definir sus estrategias de penetración en el mercado, y para los planificadores del gobierno, a fin de establecer el impacto de políticas específicas sobre la demanda por vehículos que generan menores externalidades ambientales.

1.1. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es evaluar, utilizando modelación econométrica, los factores que afectan la elección de vehículos comerciales, buses y camiones, propulsados por fuentes de energía alternativa.

Por su parte, los objetivos específicos son:

- Especificar y estimar modelos econométricos para la elección de vehículos comerciales, incluyendo la preocupación ambiental y el interés único en maximizar la utilidad de la firma como variables latentes a través de modelación híbrida.
- Estimar la disposición a pagar por los atributos relevantes en la elección de vehículos comerciales.
- Simular escenarios para estimar la participación de vehículos comerciales propulsados con fuentes de energía alternativa bajo diversas políticas que incentiven su uso.

1.2. Hipótesis de investigación

La hipótesis planteada establece que las variables que los propietarios de buses y camiones consideran de mayor importancia al momento de adquirir un vehículo nuevo son las relacionadas con los costos (adquisición y consumo de combustible). Las actitudes medioambientales tienen una incidencia menor en la estructura de elección de compra de un vehículo comercial propulsado por combustibles alternativos. De igual forma, se plantea que apropiados incentivos pueden promover la decisión de adquirir vehículos de bajo impacto ambiental.

1.3. Contribuciones

La novedad de esta investigación está relacionada con el estudio de la demanda por vehículos que usan combustibles alternativos en el sector del transporte público de pasajeros y de carga. Este tipo de estudios resulta útil para empresas comercializadoras de vehículos con tecnologías alternativas a fin de definir sus estrategias de penetración en el mercado, y para los planificadores a fin de establecer el impacto de políticas sobre la demanda por vehículos que generan menores externalidades ambientales.

1.4. Estructura del documento

La primera parte de la investigación, presenta los antecedentes, los cuales se dividen en un marco conceptual, descripción del contexto colombiano en cuanto al mercado de combustibles y de transporte. En los capítulos subsecuentes, se presenta el diseño del instrumento, el análisis de los datos recolectados, el planteamiento de los diferentes enfoques y modelos de elección propuestos, los resultados de la calibración de los modelos y el análisis de los mismos. Finalmente, se describe las conclusiones más relevantes de la investigación y se esbozan futuras líneas de investigación.

2. ANTECEDENTES

En el presente capítulo, se presentan los conceptos teóricos relevantes para el desarrollo del trabajo de investigación, incluyendo una revisión de las investigaciones que se han adelantado sobre el tema de elección de vehículos comerciales que funcionan con combustibles alternativos y las experiencias sobre su uso.

2.1. Modelos de elección discreta

Los modelos de elección discreta están basados en la teoría de la utilidad aleatoria, la cual establece que los consumidores (individuos o empresas) buscan siempre maximizar su utilidad (beneficio), y que éstos conocen ampliamente las propiedades de la coherencia entre las diferentes elecciones (McFadden, 2001), es decir que los tomadores de decisión hacen una elección racional.

Cada tomador de decisión (individuo o firma), en el proceso de elección, se enfrenta a un conjunto de alternativas elegibles las cuales tienen una serie de atributos medibles y comparables entre sí. Cada una de las alternativas (A_j) representa una utilidad (U_{jq}) para el tomador de decisión $q \in Q$, cuya estructura se asume como se muestra en la ecuación (1).

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad (1)$$

El término V_{jq} es una componente sistemática de la utilidad que puede ser medida y frecuentemente se expresa como lineal en los parámetros $V_{jq} = \theta \mathbf{X}_{jq}$, siendo θ un vector de parámetros a estimar y \mathbf{X}_{jq} el conjunto de variables explicativas o atributos medibles de la alternativa A_j . La elección observada es aquella que maximiza su función de utilidad (beneficio). A su vez, ε_{jq} es una componente aleatoria que recoge el efecto del desconocimiento de ciertos atributos considerados por el consumidor que no pueden ser observados por el modelador (McFadden, 2001). Este término de incertidumbre permite explicar dos situaciones que pueden ser consideradas como irracionales como son, primero, que dos tomadores de decisión con atributos idénticos e iguales alternativas disponibles,

hagan una elección diferente, o que alguno no seleccione la mejor alternativa aparente (Ortúzar y Willumsen, 2011).

Para el término aleatorio en la ecuación (1) se pueden asumir diversas formas de distribución. Dependiendo de cuál sea supuesta se obtendrán diferentes modelos de elección. En particular, si se asume que el término aleatorio distribuye independiente e idéntico Gumbel se obtiene el reconocido modelo logit multinomial (MNL) (Ortúzar y Willumsen, 2011). Para este modelo, la probabilidad de que q escoja la alternativa i está dada por la ecuación 2.

$$P_{iq} = \frac{\exp(\beta V_{iq})}{\sum_{A_j \in A(q)} \exp(\beta V_{jq})} \quad (2)$$

Por temas de identificación, frecuentemente el factor de escala se normaliza $\beta=1$. A partir de un modelo MNL se puede calcular la elasticidad de la demanda directa puntual (Ecuación 3) o cruzada puntual (Ecuación 4). La elasticidad directa puntual representa la variación de la probabilidad de escoger la alternativa A_i con respecto a una variación del atributo X_{ikq} , mientras que la elasticidad cruzada puntual representa la variación de la probabilidad de escoger la alternativa A_i con respecto a una variación en el k atributo de la alternativa j para un individuo q (Ortúzar y Willumsen, 2011).

$$E_{P_{iq}, X_{ikq}} = \theta_{ik} X_{ikq} (1 - P_{iq}) \quad (3)$$

$$E_{P_{iq}, X_{jkq}} = -\theta_{ik} X_{jkq} P_{jq} \quad (4)$$

Modelos más avanzados como Logit Mixto (ML), también conocido como logit de componentes de error o Logit Kernel (Train, 2009); permiten definir funciones de utilidad altamente flexibles que pueden aproximarse tan cercanamente como se desee a cualquier modelo de utilidad aleatoria e incluso considerar una matriz de covarianza arbitraria. El ML puede ser estimado en forma simple utilizando la técnica de máxima verosimilitud simulada (Train, 2009).

2.2. Modelación híbrida con variables latentes

Tradicionalmente, los modelos de elección discreta explican la probabilidad de escogencia de una cierta alternativa, como función de los atributos del conjunto de elección y de las características del tomador de decisión. Estudios recientes han evaluado la posibilidad de incluir el efecto de percepciones y actitudes de del tomador de decisión en los modelos de elección, a través de variables latentes, que pueden ser estimados en un modelo conjunto (Ortúzar y Willumnsen, 2011).

Los modelos de variables latentes combinan características socio-económicas y organizacionales medibles con atributos o patrones de comportamiento que son difíciles de medir, a través de indicadores (Figura 1). El propósito de estos modelos es explicar aparentes decisiones irracionales y capturar una parte sustancial de le heterogeneidad que no puede ser observada o directamente (Ben-Akiva et al., 2002).

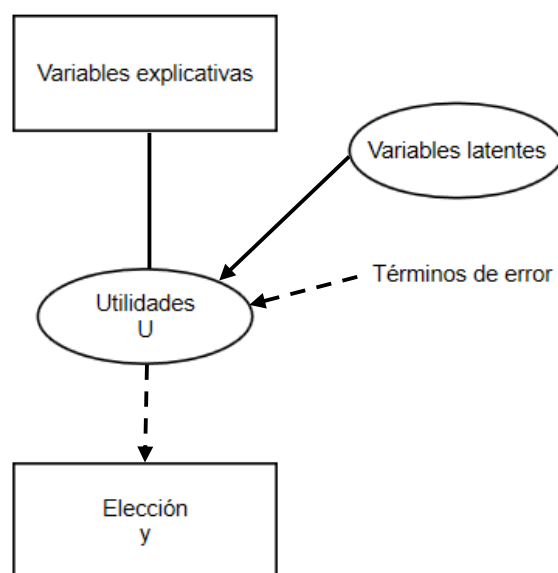


Figura 1 Variables latentes y modelos de elección discreta.
Fuente: Basado en Walker (2001).

El modelo híbrido de elección tiene un componente de elección y una componente de variables latentes. Cada una consta de una o más ecuaciones estructurales y una o más ecuaciones de medición (Walker, 2001). En la estructura del modelo, las variables latentes

(η_{ilq}) se explican por las características S_{iqr} de los individuos (firmas) q y de las alternativas i , a través de las ecuaciones estructurales (Ecuación 5). Simultáneamente, las variables latentes explican los indicadores de percepción (y_{ipq}) a través de las ecuaciones de medición (Ecuación 6). A este modelo se le conoce como “Multiple Indicator Multiple Cause” o MIMIC (Ortúzar y Willumnsen, 2011).

$$\eta_{ilq} = \sum_r \alpha_{ilr} * S_{iqr} + v_{ilq} \quad (5)$$

$$y_{ipq} = \sum_i \gamma_{ilp} * \eta_{ilq} + \zeta_{ipq} \quad (6)$$

En las ecuaciones, los parámetros a estimar son α_{ilr} y γ_{ilp} , y los términos v_{ilq} y ζ_{ipq} son componentes de error, con media cero y desviación estándar a ser estimada. Teniendo en cuenta que los η_{ilq} son desconocidos, las ecuaciones 5 y 6, deben ser resueltas de forma simultánea.

La función de utilidad del modelo híbrido de elección incluyendo variables latentes, incorpora el componente de variables latentes a la estructura de elección con las variables socioeconómicas. En la ecuación 7 se presenta la estructura de la función de utilidad, en la cual los coeficientes θ_{ik} y β_{il} son parámetros a estimar. A su vez, teniendo en cuenta que los términos η_{ilq} son desconocidos, el modelo de elección deberá ser estimado de manera conjunta con el modelo MIMIC.

$$V_{iq} = \sum_k \theta_{ik} * x_{ikq} + \sum_i \beta_{il} * \eta_{ilq} \quad (7)$$

Cuando se trabaja con indicadores categóricos, los cuales surgen de aplicar escalas de calificación con un número determinado de niveles, las ecuaciones de medición se formulan como se presenta en la ecuación (8). Cuando la variable latente continua se encuentra entre umbrales definidos (τ), esta tomará cierto valor del indicador categórico a través de un proceso de censura.

La ecuación que define las ecuaciones de medición (8) en un modelo ordinal es como sigue:

$$y_{ipq}^* = \begin{cases} 1 & \text{si } \tau_0 < y_{ipq} < \tau_1 \\ 2 & \text{si } \tau_1 < y_{ipq} < \tau_2 \\ \dots & \\ c & \text{si } \tau_{c-1} < y_{ipq} < \tau_c \end{cases} \quad (8)$$

Donde, c es el número de valores posibles que toma el indicador categórico y_{ipq}^* , τ_j son los umbrales, y y_{ipq} corresponde al indicador estimado de forma continua.

Si se tienen un total de c categorías del indicador y_{ipq}^* , se deben estimar $c-1$ umbrales τ , teniendo en cuenta que en la ecuación 8, $\tau_0 = -\infty$ y $\tau_c = +\infty$. Considerando que la estimación de las ecuaciones de medición se realizará mediante un logit ordinal, se debe cumplir la restrcción de que $\tau_c \geq \tau_{c-1}$. La probabilidad de que el indicador y_{ipq}^* se encuentre en una categoría c se puede expresar como:

$$Pr\{y_{ipq}^* = c | \eta_{ilq}\} = F\left(\tau_c - \sum_l \gamma_{ilp} * \eta_{ilq}\right) - F\left(\tau_{c-1} - \sum_l \gamma_{ilp} * \eta_{ilq}\right) \quad (9)$$

Asumiendo que los términos de error (ζ_{ipq}) de las ecuaciones de medición son independientes de los parámetros a estimar γ_{ilp} , y a su vez estos siguen una distribución logística, la ecuación (9) se puede expresar como se indica a continuación, una vez el factor de escala de la función logística se normaliza en 1:

$$Pr\{y_{ipq}^* = c | \eta_{ilq}\} = \frac{e^{\tau_c - \sum_l \gamma_{ilp} * \eta_{ilq}}}{1 + e^{\tau_c - \sum_l \gamma_{ilp} * \eta_{ilq}}} - \frac{e^{\tau_{c-1} - \sum_l \gamma_{ilp} * \eta_{ilq}}}{1 + e^{\tau_{c-1} - \sum_l \gamma_{ilp} * \eta_{ilq}}} \quad (10)$$

2.3. Tecnologías alternativas de propulsión vehicular

El uso de combustibles alternativos ha sido un tema de alta relevancia durante los últimos años, lo cual se manifiesta en un número importante de investigaciones en el desarrollo de tecnologías limpias para el transporte de pasajeros y de carga. Las compañías fabricantes

de motores están experimentando con nuevas formas de propulsión para reducir significativamente en el futuro las emisiones de gases contaminantes de las cuales es responsable el sector transporte.

Algunos autores como Beer, T. (2002) y Romm, J. (2006), y organismos internacionales como la OECD (1997), proponen el uso de otras fuentes de energía como son la energía eléctrica, celdas de hidrógeno e hibridaciones entre diferentes fuentes que bien podrían ser una combinación de convencionales con no convencionales (Caultfield et al. 2010 y Litman et al. 2006).

Por otro lado, Hekkert, M.P. (2005), Yeh, S. (2007), Goyal P. & Sidhartha (2003) y Kado NY et al. (2005) proponen la implementación de vehículos que funcionen a base de gas natural comprimido (GNC), argumentando que si bien no se erradica por completo la emisión de gases de efecto invernadero y calentamiento global, se está disminuyendo sus volúmenes de producción. Los estudios adelantados por estos investigadores señalan que las reducciones en las emisiones de CO₂ son significativas para elegir vehículos con esta tecnología energética.

El uso de vehículos con fuentes de energía alternativas significa un costo adicional por la adquisición de una tecnología que en estos momentos es de vanguardia, y sobre la cual no se han desarrollado aún procesos de producción en masa que permitan un costo asequible para los usuarios, que les permita competir con más éxito ante los vehículos con fuentes de energía convencionales.

Varios enfoques se han utilizado para estudiar las preferencias de elección de buses y camiones, la mayoría de ellos centrado en vehículos particulares. Los enfoques econométricos más populares para estudiar la demanda de vehículos con combustibles alternativos son: regresión lineal, logit multinomial (MNL), ordenado logit, probit ordenado y la regresión de Poisson (Potoglou et al., 2008). En Colombia, Soto et al. (2014) estimó modelos de elección híbrida para evaluar la demanda de vehículos particulares con combustible alternativo que incorporan factores observados de forma explícita y variables latentes que podrían afectar a la próxima compra de vehículo.

A pesar de que la literatura relacionada en la elección de vehículos privados alimentados con fuentes de energías alternativas puede ser utilizada como una referencia para la estimación de modelos de elección de buses y camiones, debe tenerse en cuenta que los procesos de elección son diferentes entre un tipo de vehículo y otro. El automóvil particular de un individuo representa un bien de uso personal, mientras que un autobús o camión para una empresa de transporte representa un equipo de trabajo que tiene que ser rentable y debe cumplir con ciertas características. En este último caso, la función objetivo de la firma se traduce en maximizar el beneficio o ganancia, lo que implica disminuir costos.

Se han hecho pocos estudios de demanda por buses y camiones con fuentes de energía alternativa en todo el mundo. La razón es que el éxito de mercado de las alternativas tecnológicas de propulsión hasta el momento ha sido marginal, y la mayoría de las tecnologías son bastante recientes y no están disponibles en muchos países, incluida Colombia.

Los primeros estudios de investigación relacionados con los vehículos comerciales de combustibles alternativos fueron realizados por fabricantes y empresas de transporte en los años 90 y se centraron principalmente en camiones. Su principal objetivo era encontrar la importancia de algunos atributos en la elección de la tecnología de combustible para este tipo de vehículo. Golob et al. (1997) estimaron modelos logit utilizando datos de PD, provenientes de encuestas aplicadas en 1995: se encuestó a un total de 2000 operadores de flotas de camiones para elegir entre las alternativas de camiones propulsados por electricidad, GNC, metanol y gasolina, con base en las características de funcionamiento y los costos de adquisición. Se consideraron variables relacionadas con las características de las empresas (tamaño, factores organizacionales), las características de los vehículos (costo de capital, costo operacional, autonomía, mantenimientos), y la disponibilidad de combustible (posibilidad de recarga in situ). El estudio concluye que las empresas públicas de transporte son las más sensibles al costo de capital de los vehículos nuevos. El sector privado de transporte mostró que su elección está dominada por las características técnicas y operacionales de los vehículos, más que por las cualidades ambientales.

Parker et al. (1997) presentaron un análisis descriptivo de las percepciones de los operadores de camiones sobre el uso de combustibles alternativos. Concluyeron que las

variables de decisión más importante al elegir la tecnología de combustible del camión eran los costos de capital, la disponibilidad de las estaciones de recarga y los costos operacionales. El estudio estableció que las empresas estarían dispuestas a cambiar de tecnología de propulsión de sus vehículos por dos circunstancias: (1) si el ahorro por costo de combustible es significativo y el desempeño de los vehículos mejora o (2) si una política gubernamental los obliga a hacer el cambio.

Otras investigaciones relacionadas con la elección de vehículos comerciales propulsados con energías alternativas, incluyendo alternativas de propulsión de desarrollo reciente, han aplicado métodos de análisis multicriterio para estimar un nivel de importancia de las variables que influyen en la decisión de compra de un vehículo comercial y en la elección de las alternativas tecnológicas disponibles. Tzeng et al. (2004) aplicaron esta metodología para el caso de buses de transporte público de pasajeros concluyendo que los buses híbridos eléctricos son, en el ámbito urbano, los sustitutos más adecuados de la tecnología diésel convencional.

Otros autores se han centrado en la determinación de las principales limitantes y los factores que promueven la aceptación de buses y camiones con combustibles alternativos en el mercado. Es el caso de encuestas de PD aplicadas en Hong Kong para evaluar la aceptación de buses PLB (public light buses) entre los operadores, para el uso de combustibles alternativos (P.Y. Loo et al., 2006), en el cual se enfrentaban dos alternativas: el diésel y el gas licuado de petróleo (GLP), permitiendo calibrar modelos logit multinomial (MNL). Los resultados mostraron que los operadores de buses PLB no estaban dispuestos a cambiar de buses diésel convencionales a GLP. Cabe resaltar que el costo del bus no resultó ser un atributo significativo para los operadores de buses PLB en Hong Kong, posiblemente debido a que existe un subsidio del gobierno para la compra de autobuses de transporte público.

Mattson (2012) describe los factores y motivaciones para la adopción de combustibles alternativos para buses, utilizando la experiencia de diferentes agencias de transporte. En su estudio evaluó variables como los costos, mantenimiento, fiabilidad, y la satisfacción general entre las organizaciones que han utilizado vehículos de combustibles alternativos y los que no lo tienen, así como las diferencias entre las zonas rurales y las urbanas. El autor

concluye que el tamaño de una agencia (empresa) de transporte es importante en el momento de la adopción de nuevas tecnologías de combustibles. Mattson (2012) también encontró que las agencias más grandes eran más adecuadas para acoger vehículos con combustible alternativo. Además, los empresarios de buses consideraron los ahorros en costos de combustible como uno de los factores más relevantes al momento de decidir por el tipo de vehículo a comprar. Otros factores de interés fueron el suministro de combustible y los costos asociados con la infraestructura.

Wang y González (2013) evaluaron la viabilidad de buses eléctricos para las pequeñas y medianas ciudades con base en los datos cualitativos y cuantitativos disponibles de diversas fuentes, provenientes de revisiones de la literatura y de información proporcionada por los fabricantes. La alternativa eléctrica se comparó con el diésel, diésel-híbrido y GNC, obteniendo resultados que sugieren que el funcionamiento de los buses eléctricos es ideal para las comunidades pequeñas y medianas empresas debido a su nulo nivel de emisiones y bajo nivel de ruido. Sin embargo, los buses eléctricos afectan indirectamente el medio ambiente debido a la cantidad de consumo de energía proveniente de centrales termoeléctricas, y presentan algunas barreras de adquisición debido a que su costo de adquisición supera los de GNC y de los vehículos híbridos.

Algunos autores han centrado su investigación sobre las actitudes de los operadores de buses y camiones hacia los combustibles alternativos y su impacto ambiental. Por ejemplo, Saxe et al. (2007) encontraron que los problemas de seguridad para los nuevos autobuses que funcionan con celdas de hidrógeno no representa un problema entre los conductores, y que los operadores estaban satisfechos con la fiabilidad de los buses.

En su investigación, Schweitzer et al. (2007) evaluaron la relación entre la actitud medioambiental de los conductores de camiones y la adopción de medidas para la reducción de los tiempos de estado de ralentí (períodos en los que los vehículos están detenidos pero con el motor encendido al mínimo de revoluciones). En este estudio se concluye que los conductores con un nivel de educación universitario se mostraron de acuerdo con afirmaciones favorables sobre el medio ambiente. Además, se concluyó a partir de la estimación de un modelo tipo logit, que las preocupaciones por consumo de combustible y los costos operacionales están asociados a un interés en la reducción de los

tiempos de estado de ralentí. También se demostró que las variables costo de tecnología y costo de combustible se consideraron como las más influyentes en la adopción de estrategias para reducir estos tiempos. Se destaca que los propietarios de camiones mostraron preocupación por el efecto de las emisiones de los vehículos en el medio ambiente, pero consideran que se requieren incentivos económicos de parte del gobierno.

Gota et al. (2014) estudiaron tres principales empresas de buses en la India para evaluar sus actitudes y estrategias de ahorro de combustible y reducción de emisiones, concluyendo que las empresas evaluadas no tienen un compromiso para asegurar la mejora en la eficiencia del combustible ni han implementado estrategias para reducir las emisiones.

Una de las alternativas energéticas más probadas en vehículos de alta capacidad a nivel internacional es el hidrógeno (Farrell A. et al. 2003). Los autores concluyen en su estudio que introducir el hidrógeno como combustible en vehículos pesados es una forma eficaz y de bajo costo para extender su uso hacia vehículos ligeros. Por su parte, Xian et al. (2015) y Khan et al. (2015), evaluaron las bondades del GNC como combustible para flotas de camiones y en general, como combustible para el transporte terrestre, concluyendo que esta es una alternativa rentable al combustible diésel convencional, para las condiciones de mercado actuales.

2.4. Contexto del transporte público de pasajeros y carga en Colombia

Los servicios de transporte en Colombia están regulados por el gobierno nacional a través del Ministerio de Transporte. Sin embargo los gobiernos municipales son responsables de emitir regulaciones locales, asignación de rutas, horarios, tamaños de flota y frecuencias, para el caso de los servicios de buses, y restricciones de circulación para el caso de los vehículos de carga (Ardila, 2005). Las administraciones locales también controlan el cumplimiento de los lineamientos generales emitidos por el Ministerio de Transporte.

El servicio de transporte de carga, es prestado por empresas de transporte constituidas para tal fin y avaladas por el Ministerio de Transporte para prestar los servicios. Las empresas se dan en una amplia diversidad de escalas, con vehículos que van desde el camión de dos ejes con capacidad inferior a 5 toneladas, hasta el transporte en tracto-camiones de 5 y 6 ejes. De acuerdo con el último reporte del Ministerio de Transporte del año 2014, en

Colombia se encuentran registrados cerca de 276646 vehículos de carga, de los cuales el 23% son tracto-camiones. El número de empresas de transporte de carga para ese mismo año fue de 2854, mientras que de pasajeros se tenían registradas 531.

Para el caso del transporte de pasajeros, los servicios de transporte de pasajeros son ofertados por empresas privadas o cooperativas de buses. Es bastante común que estas empresas no sean propietarias de la cantidad de vehículos suficientes para satisfacer la demanda, ocurriendo que la mayoría de las empresas de transporte se dedican a la afiliación de buses de terceros, quienes deben pagar una cuota por el derecho de operar el autobús en las rutas asignadas a las empresas. Los propietarios de los autobuses son responsables de sus propios equipos y cargan con todo el costo de adquisición y mantenimiento durante la vida útil de los autobuses (Ardila, 2005).

A diferencia de otros países, el transporte público de pasajeros en Colombia no está subsidiado por el gobierno nacional. De hecho, los subsidios al transporte con fondos nacionales están prohibidos por ley, aunque las autoridades locales pueden subsidiar el transporte público, con sus propios recursos. En la práctica, las limitaciones presupuestales no permiten asignar subsidios por lo cual los servicios de transporte de pasajeros deben financiar sus operaciones a través de las tarifas.

En las principales ciudades del país se adelantan proyectos para la implementación de sistemas integrados de transporte masivo empleando vehículos tipo BRT (*Bus Rapid Transit*), en los cuales se prevé un potencial foco de demanda que puede ser aprovechado. A su vez, en las ciudades intermedias se están llevando a cabo proyectos de sistemas de transporte público estratégico, incentivando su uso por parte de la ciudadanía sobre el transporte particular; por ello, se espera un gran nivel de demanda de vehículos de servicio público de pasajeros, en la cual es factible introducir la oferta de alternativas energéticas para mejorar la calidad del aire de las ciudades y mitigar el efecto contaminante de los sistemas de transporte. Como resultado de la política nacional, seis ciudades de Colombia (Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Bucaramanga y Pereira) tienen sistemas de transporte masivo (BRT) y una séptima ciudad (Cartagena) está iniciando con pruebas piloto de este servicio. Sin embargo, los sistemas BRT han tenido muchas dificultades y desafíos para su puesta en marcha en muchas ciudades (Kash e Hidalgo 2014). Una de las

principales causas de estas dificultades está relacionada con la competencia de los servicios informales y de los sistemas de transporte tradicionales y obsoletos, que aún operan en esas ciudades.

Varios gobiernos locales ahora están avanzando hacia sistemas integrados y multimodales de transporte incluyendo otros servicios como el tranvía, metro y sistemas por cables. Se destaca el caso de Medellín, que es la única ciudad de Colombia con tarifas integradas de servicios multimodales (i.e., transporte por cables, metro y el sistema BRT llamado Metroplús). Recientemente, Bogotá y Cali han comenzado a aplicar las tarifas integradas para los diferentes servicios de buses en toda la ciudad.

2.5.Mercado de combustibles en Colombia

El combustible diésel es sin duda alguna el más comercializado en Colombia como fuente energética para vehículos de uso comercial de alta capacidad. Esto se debe a que de las fuentes de energía convencionales es la que presenta mayor contenido energético y relativo bajo costo. Un motor diésel consume un 30% menos de combustible que un motor a gasolina de similares características (Behrentz E., 2008). En la Figura 2 se puede apreciar que el combustible más utilizado en la actividad de transporte es el diésel.

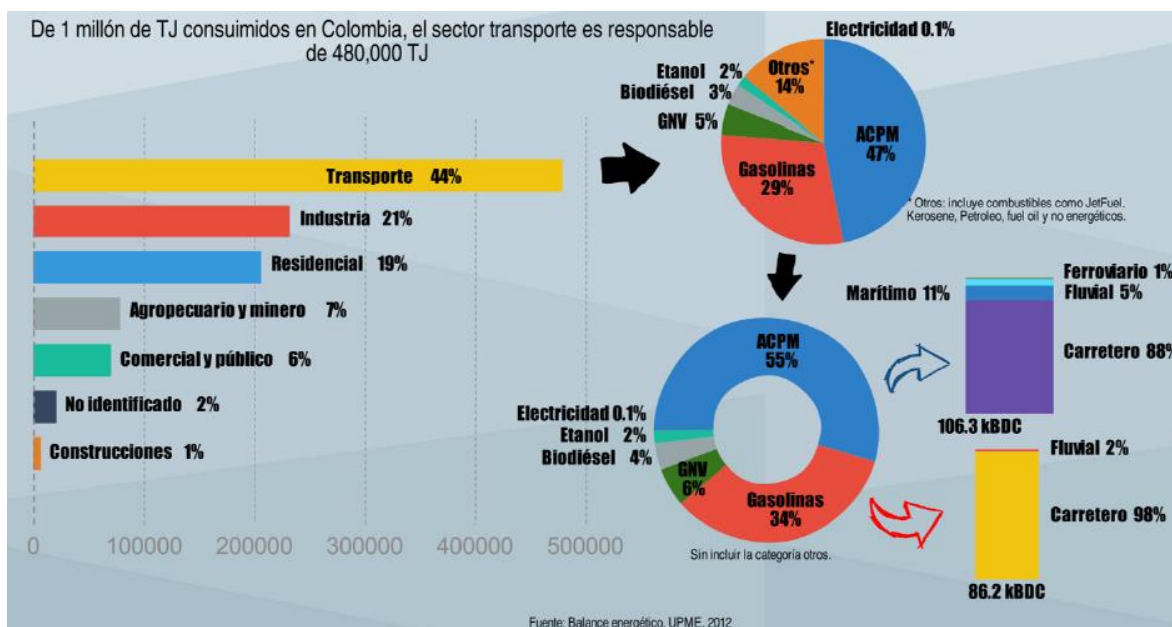


Figura 2. Consumo histórico energético en Colombia

Fuente: UPME 2014

El mayor consumo nacional de combustible diésel ocurre en el sector transporte. Cerca del 90% del diésel consumido en transporte se da en los vehículos de transporte de carga y pasajeros, a pesar de que éstos representan aproximadamente el 6% del parque automotor nacional (Figura 3). El 10% restante, es utilizado en vans, camperos y similares (UPME, 2014).

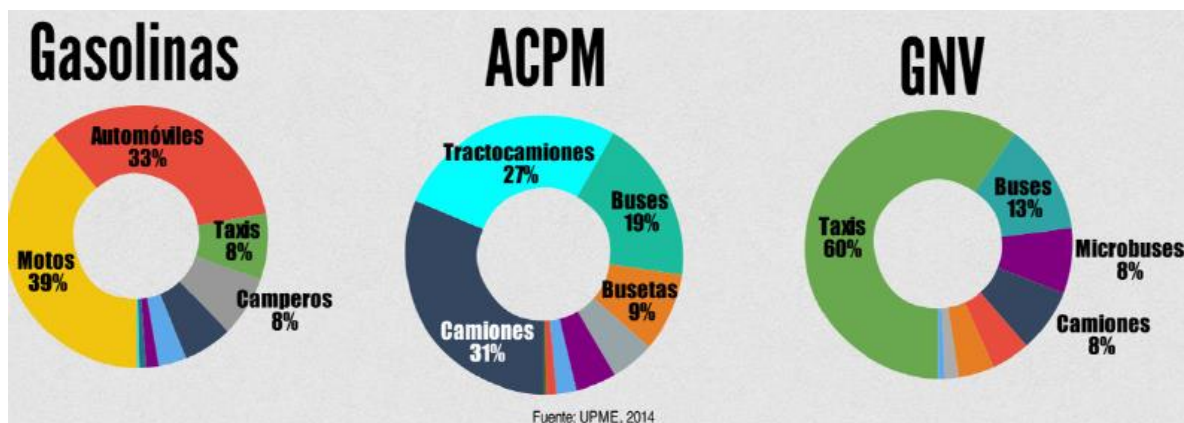


Figura 3 Consumo de combustibles en transporte carretero
Fuente: UPME 2014

Los biocombustibles han tenido una creciente participación como fuente energética. En la Figura 4, se observa que el combustible diésel ha experimentado un crecimiento continuo de acuerdo con el reporte de la UPME en el año 2012. Los biocombustibles son suministrados a los vehículos mezclados con combustible diésel o gasolina motor. Por otro lado, en la Figura 5 se observa que el GNV experimentó un incremento importante entre los años 2000 y 2008, para luego presentar un descenso moderado. Esto posiblemente relacionado con los problemas de las adaptaciones debido a la falta de tecnología adecuada. Actualmente los vehículos que más utilizan GNV son los vehículos tipo taxi.

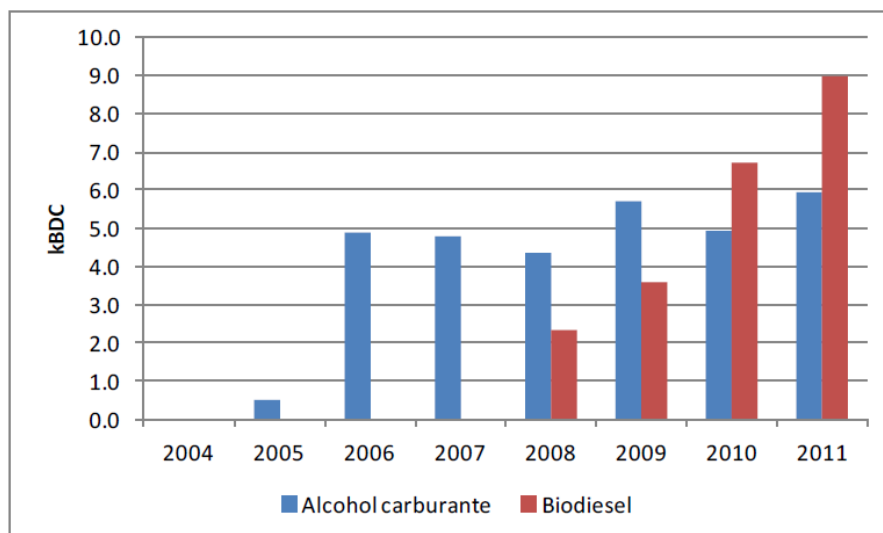


Figura 4: Consumo de biocombustibles en Colombia

Fuente: UPME 2012

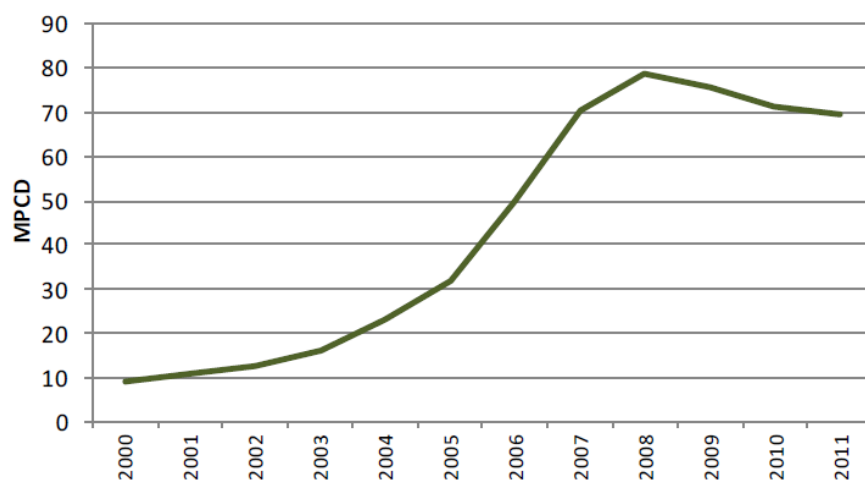


Figura 5: Consumo anual de gas natural vehicular (GNV) en millones de pies cúbicos día

Fuente: UPME 2012

Para conocer el consumo de combustibles para transporte terrestre, por modos, se presenta la Tabla 1. Se concluye la gasolina es utilizada principalmente para el transporte de pasajeros a escala urbana, el diésel se consume principalmente para el movimiento de carga y el GNV es empleado esencialmente para el transporte de pasajeros.

Tabla 1 Distribución de clases de vehículos por tipo de combustible
Fuente: UPME 2014

Clase de vehículo	Total	Gasolina	Diésel	Gas natural		Tecnologías Eléctricas			Otros combustibles			
				Gas-Gasolina	GNV	Eléctrico	Diésel-Eléct.	Gasolina-Eléct.	Biodiesel	Hidrógeno	GLP	Etanol
Autos	2.792.899	97,46%	1,26%	1,13%	0,15%	0,004%	0,000%	0,00020%	0,000%	0,00007%	0,0000%	0,00004%
Camperos	594.989	88,30%	10,65%	0,89%	0,16%	0,000%	0,000%	0,00000%	0,001%	0,00000%	0,0002%	0,00000%
Camionetas	848.681	77,31%	21,08%	1,39%	0,22%	0,006%	0,000%	0,00010%	0,001%	0,00000%	0,0020%	0,00000%
Motos	5.676.561	97,22%	2,61%	0,05%	0,10%	0,010%	0,000%	0,00005%	0,000%	0,00009%	0,0000%	0,00005%
Buses	68.513	29,82%	67,10%	0,75%	2,04%	0,007%	0,270%	0,00000%	0,009%	0,00000%	0,0000%	0,00000%
Busetas	36.405	27,41%	71,28%	0,39%	0,91%	0,008%	0,000%	0,00000%	0,000%	0,00000%	0,0000%	0,00000%
Microbuses	79.340	31,53%	66,28%	1,31%	0,86%	0,020%	0,000%	0,00000%	0,006%	0,00000%	0,0000%	0,00000%
Camiones	286.824	33,17%	65,37%	0,77%	0,66%	0,010%	0,002%	0,00000%	0,006%	0,00030%	0,0003%	0,00000%
Tractocamión	57.458	7,42%	92,01%	0,07%	0,43%	0,050%	0,000%	0,00000%	0,016%	0,00000%	0,0000%	0,00000%
Total sin otros	10.441.670	91,72%	7,57%	0,53%	0,17%	0,008%	0,002%	0,00009%	0,050%	0,00008%	0,0002%	0,00004%
Otros	14.681	57,48%	40,08%	0,67%	1,38%	0,020%	0,007%	0,00000%	0,000%	0,00000%	0,0000%	0,00000%

3. DATOS E INSTRUMENTO

La población objetivo de esta investigación se concentra en empresarios de transporte de carga y de pasajeros, es decir, propietarios de vehículos que prestan servicios comerciales de media y alta capacidad. Como se ha visto en los capítulos anteriores, las tecnologías energéticas no han tenido aún una penetración importante en el mercado de los vehículos comerciales. Por tal razón, para estimar modelos de elección discreta, sobre alternativas de propulsión vehicular no disponibles en el mercado se hace necesaria la aplicación de encuestas de PD.

3.1. Metodología

Inicialmente se diseñaron y aplicaron encuestas piloto con el objetivo de confirmar las variables relevantes del modelo y a su vez, corroborar la consistencia del instrumento que se utilizaría para la recolección de datos para la investigación. Posteriormente, mejorado el instrumento, se aplicaron las encuestas definitivas, las cuales incluían una sección de PD, a empresarios de buses y camiones en los principales centros urbanos de Colombia. Para tal propósito, se obtuvieron bases de datos solicitados a las empresas de transporte de pasajeros y de carga, con las cuales se contactaron a los posibles encuestados, con quienes se pactaban citas para aplicar la encuesta. Encuestadores previamente entrenados aplicaban la encuesta cara a cara, y los datos eran consignados en un formulario disponible vía web.

Una vez culminada la etapa de toma de información, se llevó a cabo el proceso de depuración de la base de datos, para estimar modelos de elección simples, y modelos híbridos incluyendo variables latentes. Se exploraron diferentes especificaciones como el logit jerárquico, en el cual se agruparon las alternativas de tecnologías limpias y en otro nido sólo la alternativa diésel convencional. También se especificó un modelo tipo logit mixto correlacionando alternativas. Al final del ejercicio con los modelos logit multinomial y modelos involucrando efecto panel se obtuvieron los mejores resultados. Además, se evaluaron modelos híbridos incluyendo variables latentes para capturar el efecto de actitudes medio-ambientales en la decisión de comprar o no un vehículo con fuentes de energía alternativas.

Se estimaron modelos de elección para propietarios de buses y de camiones por separado, e igualmente modelos conjuntos con parámetros específicos y genéricos. A su vez, se consideró interacción entre variables, teniendo en cuenta que se esperaba que el comportamiento de ambos tipos de empresarios difiera, dado que las actividades que desempeñan sus vehículos presentan necesidades diferentes.

A partir del mejor modelo estimado, se calcularon elasticidades de demanda, disposiciones a pagar, y se analizó el impacto de varias políticas orientadas a promover el uso de equipos alimentados con fuentes de energía alternativas.

3.2. Instrumento

Con el objeto de determinar las variables a considerar en el instrumento de toma de información, se hizo una revisión de la literatura disponible en la cual se ha discutido el tema de elección de vehículos comerciales con fuentes de energía alternativa, y se ha estimado modelos de elección para determinar los factores que afectan la elección de vehículos comerciales con fuentes de propulsión alternativas al diésel convencional. También se consultó información general sobre la estructura de las empresas de buses y de camiones en Colombia, la cual se obtuvo a partir de los reportes periódicos del Ministerio de Transportes.

Se prepararon dos versiones de la encuesta, una para aplicarla a empresarios de transporte de pasajeros y otra para los empresarios de transporte de carga. Esto se hizo teniendo en cuenta que se tienen diferencias marcadas entre los propietarios de buses y los de camiones, dado que las necesidades de los servicios que presta cada tipo de vehículo son diferentes. Las empresas de transporte de carga requieren equipos de alta capacidad, con relación de potencia y dimensiones suficientes para transportar cargas de pesos y volúmenes diversos, y capaces de recorrer grandes distancias en rutas variables día a día. Las empresas de transporte de pasajeros tienen usualmente recorridos fijos, ciclos más cortos (en el caso urbano), y con menor exigencia de potencia que los camiones.

El instrumento fue estructurado en tres secciones principales. En la primera, se indagó por características generales del encuestado, de la empresa de transporte y de la flota de vehículos. Se recogió información específica sobre el tipo de servicio prestado por la

empresa, cantidad de vehículos por categoría y tipo de combustible, características del parque automotor y de la empresa. En la Figura 6 se presenta una imagen de la sección de la encuesta de camiones, y en la Figura 7 se muestra la correspondiente para la encuesta de buses. En la encuesta de buses, se indagó además por la disponibilidad de estación de recarga de combustibles en las terminales

<p>IL1. ESPECIFIQUE EL TIPO (O LOS TIPOS) DE SERVICIO(S) QUE PRESTA LA EMPRESA. USTED PUEDE MARCAR MÁS DE UNA OPCIÓN EN ESTA PREGUNTA. <i>Marque las entradas que correspondan</i></p> <p><input type="checkbox"/> Transporte urbano de carga <input type="checkbox"/> Transporte de carga con radio de acción nacional</p> <p>Otro: <input type="text"/></p>	<p>IL4. POR FAVOR DILIGENCIE LA SIGUIENTE INFORMACIÓN <i>En estos campos sólo pueden introducirse números</i></p> <p>Edad promedio del parque <input type="text"/></p> <p>Porcentaje del parque propio <input type="text"/></p> <p>Porcentaje del parque afiliado <input type="text"/></p> <p>Capacidad transportadora <input type="text"/></p> <p>? <i>Consigne las cifras en las casillas correspondientes</i></p>
<p>IL2. MARQUE LOS TIPOS DE VEHÍCULOS QUE PRESTAN SERVICIO EN LA EMPRESA E INDIQUE EN LAS CASILLAS LA CANTIDAD QUE POSEE LA EMPRESA. <i>Marque las entradas que correspondan</i></p> <p><input type="checkbox"/> Camión sencillo de baja capacidad (2 Ejes - 4 a 7 Ton)</p> <p><input type="checkbox"/> Camión sencillo de media-alta capacidad (2 Ejes - 7 a 13 Ton)</p> <p><input type="checkbox"/> Tractocamión (Hasta 40 Ton)</p>	<p>IL5. CUANDO UN VEHÍCULO HA CUMPLIDO SU CICLO DE VIDA ÚTIL EN LA EMPRESA, NORMALMENTE...</p> <p><input type="checkbox"/> Se vende por un valor de salvamento a un concesionario.</p> <p><input type="checkbox"/> Se lleva a un proceso de chatarrización. <input type="checkbox"/> Se vende a un tercero.</p> <p>Otra acción, ¿Cuál? <input type="text"/></p>
<p>IL3. INDIQUE EL NÚMERO DE VEHÍCULOS QUE POSEE LA EMPRESA POR CADA TECNOLOGÍA <i>En estos campos sólo pueden introducirse números</i></p> <p>Gas natural <input type="text"/></p> <p>Gasolina <input type="text"/></p> <p>Diesel <input type="text"/></p>	<p>IL6. ¿LA EMPRESA CUENTA CON TALLER PROPIO PARA HACER EL MANTENIMIENTO DE LOS VEHÍCULOS?</p> <p><input type="radio"/> Sí <input type="radio"/> No</p> <p>IL7. ¿LA EMPRESA TIENE VIGENTE CERTIFICACIÓN ICONTEC ISO 9001 EN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD?</p> <p><input type="radio"/> Sí <input type="radio"/> No</p> <p>IL8. ¿TIENE LA EMPRESA UN SISTEMA PROPIO DE CONTROL DE LAS EMISIONES DE LOS VEHÍCULOS?</p> <p><input type="radio"/> Sí <input type="radio"/> No</p> <p>? <i>Se pregunta si la empresa hace un control interno de los niveles de emisiones de sus equipos, aparte del que se hace en la revisión técnico-mecánica reglamentada por el Estado.</i></p>

Figura 6 Primera sección de encuesta de camiones

Fuente: elaboración propia

En la segunda sección de la encuesta, se presentaron indicadores de percepción, divididos en dos partes. La primera, presentó un listado de características consideradas al momento de comprar un vehículo, en la cual se solicitó dar una calificación de 1 a 5 para cada una, de acuerdo con el grado de importancia considerado, teniendo en cuenta que 1 corresponde a “nada importante” y 5 a “muy importante” (Figura 8). Esta sección de la encuesta se presentó de forma idéntica tanto para propietarios de buses, como de camiones.

*** IL1. ESPECIFIQUE EL TIPO (O LOS TIPOS) DE SERVICIO(S) QUE PRESTA LA EMPRESA. USTED PUEDE MARCAR MÁS DE UNA OPCIÓN EN ESTA PREGUNTA.**
Marque las entradas que correspondan

☐ Transporte público urbano de pasajeros


☐ Servicios especiales de transporte de pasajeros

☐ Transporte interurbano de pasajeros


Otro:

*** IL2. MARQUE LOS TIPOS DE VEHÍCULOS QUE PRESTAN SERVICIO EN LA EMPRESA E INDIQUE EN LAS CASILLAS LA CANTIDAD QUE POSEE LA EMPRESA.**
Marque las entradas que correspondan


☐

BUSETA - BUSETÓN
(28 SILLAS APROX.)
 

☐

BUS
(38 SILLAS APROX.)
 

☐

BUS PADRÓN
(ALTA CAPACIDAD)
 

*** IL3. INDIQUE EL NÚMERO DE VEHÍCULOS QUE POSEE LA EMPRESA POR CADA TECNOLOGÍA**
En estos campos sólo pueden introducirse números

Diesel

Gasolina

Gas natural

*** IL4. POR FAVOR DILIGENCIE LA SIGUIENTE INFORMACIÓN**
En estos campos sólo pueden introducirse números

Porcentaje del parque afiliado

Edad promedio del parque

Porcentaje del parque propio

Capacidad transportadora

? *Consigne las cifras en las casillas correspondientes*

*** IL5. CUANDO UN VEHÍCULO HA CUMPLIDO SU CICLO DE VIDA ÚTIL EN LA EMPRESA, NORMALMENTE...**

☐ Se vende por un valor de salvamento a un concesionario.

☐ Se lleva a un proceso de chatarrización.

☐ Se vende a un tercero.

Otra acción, ¿Cuál?

*** IL6. ¿LA EMPRESA CUENTA CON TALLER PROPIO PARA HACER EL MANTENIMIENTO DE LOS VEHÍCULOS?**

☐ Sí

☐ No

*** IL7. ¿LA EMPRESA CUENTA CON ESTACIÓN DE COMBUSTIBLE EN SUS TERMINALES O PARQUES DE ESTACIONAMIENTO?**

☐ Sí

☐ No

*** IL8. ¿LA EMPRESA TIENE VIGENTE CERTIFICACIÓN ICONTEC ISO 9001 EN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD?**

☐ Sí

☐ No

*** IL9. ¿TIENE LA EMPRESA UN SISTEMA PROPIO DE CONTROL DE LAS EMISIONES DE LOS VEHÍCULOS?**

☐ Sí

☐ No

? *Se pregunta si la empresa hace un control interno de los niveles de emisiones de sus equipos, aparte del que se hace en la revisión técnico-mecánica reglamentada por el Estado.*

Figura 7 Primera sección de encuesta de buses
Fuente: elaboración propia

*** III.1. CALIFIQUE DE 1 A 5 LA IMPORTANCIA QUE TIENE PARA LA EMPRESA CADA UNA DE LAS SIGUIENTES CARACTERÍSTICAS AL MOMENTO DE COMPRAR UN VEHÍCULO, DONDE 1 ES NADA IMPORTANTE Y 5 ES MUY IMPORTANTE.**

	NADA IMPORTANTE 1	POCO IMPORTANTE 2	IMPORTANTE 3	BASTANTE IMPORTANTE 4	MUY IMPORTANTE 5
Respaldo técnico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Consumo de combustible	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Equipamiento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Emisiones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alta tecnología	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Marca	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Precio de compra	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 8 Primera parte de indicadores de percepción
Fuente: elaboración propia

La segunda parte de la sección de indicadores, presentó una serie de afirmaciones relacionadas con el uso de combustibles limpios, posiciones sobre temas medioambientales y políticas relacionadas con los costos de combustibles y las tecnologías más limpias. En esta parte se solicitó calificar de 1 a 5 el grado de acuerdo o desacuerdo con las afirmaciones presentadas, donde 1 correspondía a “totalmente en desacuerdo” y 5 a “totalmente de acuerdo” (Figura 9).

* III.2. INDIQUE EL NIVEL DE ACUERDO O DESACUERDO CON CADA UNA DE LAS SIGUIENTES AFIRMACIONES.					
	TOTALMENTE EN DESACUERDO 1	EN DESACUERDO 2	NI DE ACUERDO NI EN DESACUERDO 3	DE ACUERDO 4	TOTALMENTE DE ACUERDO 5
La empresa se preocupa por comprar camiones con altos estándares tecnológicos sin importar su precio.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
El Estado Colombiano debe incentivar el uso de vehículos con tecnologías limpias a través de subsidios y beneficios tributarios.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La contaminación ambiental es más un problema de comportamiento humano que de tecnología.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Las exigencias de emisiones para los nuevos camiones debe ser menos estricta.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Debe llevarse un control más riguroso a las emisiones de los camiones por parte del Estado, estableciendo sanciones más estrictas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La contaminación del aire NO es un problema ambiental serio.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Debe proveerse un combustible diesel con menor contenido de azufre aunque sea más costoso.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Para el 2013 sólo se venderá en Colombia combustible diesel con contenido de azufre de 50 ppm, el cual es más costoso que el actual que tiene 500 ppm. El costo adicional de este nuevo combustible deberá ser asumido totalmente por el Estado y no por los transportadores.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dado que un camión con estándar de emisiones Euro III cuesta entre 15 y 30 millones de pesos menos que uno con estándar Euro IV, preferimos comprar el vehículo Euro III.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
El combustible diesel es muy costoso, y para abaratarlo debe ser subsidiado por el Estado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 9 Segunda parte de indicadores de percepción
Fuente: elaboración propia

En la tercera sección de la encuesta se presentó el experimento de PD, el cual se diseñó con 12 escenarios de elección los cuales fueron presentados a cada encuestado. En cada una de los escenarios de elección hipotéticos presentados los encuestados tenían que escoger la mejor entre 3 o 4 alternativas presentadas. Se obtuvo un diseño fraccional factorial de 48 filas utilizando el software NGENE® (Choicemetrics, 2012), y se generaron 4 bloques cada uno con 12 situaciones de elección que serían presentadas a cada uno de los encuestados. Los atributos considerados para describir cada una de las alternativas disponibles en el experimento de PD se presentan en la Tabla 2. El atributo “disponibilidad de estaciones de recarga” sólo se consideró para la encuesta de camiones.

Tabla 2 Atributos considerados en el experimento de PD
Fuente: elaboración propia

Atributo	Unidad	Descripción
Costo	COP	Costo de compra de un nuevo vehículo. No incluye valor de carrocería.
Puntos de recarga	l/x	Cantidad de estaciones de recarga del combustible alternativo, por cada estación de combustible diésel tradicional.
Autonomía	km	Distancia máxima recorrida con una recarga completa de combustible.
Costo de recarga	COP	Costo de una recarga completa de combustible.
Potencia	%	Potencia ofrecida por la tecnología expresada como porcentaje de la tecnología diésel.
Costo/km	COP/km	Costo asociado al consumo de combustible para recorrer 1 kilómetro.

Las alternativas de elección y los niveles de los atributos considerados se ajustaron de acuerdo con el tipo de bus o camión que poseía el encuestado. Este ajuste se hizo para asegurar que cada uno de los encuestados se enfrentara a alternativas con atributos similares a los que normalmente tiene en cuenta al momento de comprar un vehículo nuevo para su empresa, haciendo así más realista el experimento. Se definieron tres categorías vehiculares de buses y camiones, de acuerdo con las presentadas en la parte inicial de cada encuesta (Figura 6 y Figura 7). Para las primeras dos categorías vehiculares de buses y camiones, se presentaron cuatro alternativas tecnológicas: diésel, gas natural, eléctrico e híbrido. En el caso de la tercera categoría se excluyó el vehículo eléctrico dado que no se obtuvo información sobre el uso de esta en buses padrones o tracto-camiones. Los niveles de los atributos utilizados para el experimento de PD de buses y de camiones se presentan

en la Tabla 3 y Tabla 4 respectivamente. Los valores fueron obtenidos de los fabricantes, del mercado de combustibles y de la literatura relacionada con tecnologías de propulsión de buses y camiones.

Tabla 3 Atributos y niveles utilizados en el experimento de PD de buses

Fuente: elaboración propia

Vehículo	Buseta - Busetón (28 sillas aprox.)				Bus (38 sillas aprox.)				Bus Padrón		
Combustible	Diésel	Híbrido	GNC	Eléctrico	Diésel	Híbrido	GNC	Eléctrico	Diésel	Híbrido	GNC
Costo (x10 ⁶ COP)	\$ 120	\$ 180	\$ 160	\$ 220	\$ 160	\$ 240	\$ 210	\$ 290	\$ 240	\$ 340	\$ 310
	\$ 140	\$ 200	\$ 180	\$ 240	\$ 180	\$ 260	\$ 230	\$ 310	\$ 260	\$ 360	\$ 330
	\$ 160	\$ 220	\$ 200	\$ 260	\$ 200	\$ 280	\$ 250	\$ 330	\$ 280	\$ 380	\$ 350
Autonomía (km)	580	760	420	260	680	910	510	300	760	940	560
	600	780	440	280	710	930	530	320	780	960	580
	620	800	460	300	740	950	550	340	800	980	600
Costo de recarga (x10 ³ COP)	\$ 380	\$ 380	\$ 190	\$ 50	\$ 570	\$ 570	\$ 290	\$ 90	\$ 780	\$ 780	\$ 400
	\$ 410	\$ 410	\$ 220	\$ 70	\$ 600	\$ 600	\$ 320	\$ 110	\$ 810	\$ 810	\$ 430
	\$ 440	\$ 440	\$ 250	\$ 90	\$ 630	\$ 630	\$ 350	\$ 130	\$ 840	\$ 840	\$ 460
Potencia (%)	100	100	80	70	100	100	80	70	100	100	80
	100	110	90	80	100	110	90	80	100	110	90
Costo/km (COP/km)	\$ 655	\$ 500	\$ 452	\$ 192	\$ 838	\$ 626	\$ 569	\$ 300	\$ 1.026	\$ 830	\$ 714
	\$ 683	\$ 526	\$ 500	\$ 250	\$ 845	\$ 645	\$ 604	\$ 344	\$ 1.038	\$ 844	\$ 741
	\$ 710	\$ 550	\$ 543	\$ 300	\$ 851	\$ 663	\$ 636	\$ 382	\$ 1.050	\$ 857	\$ 767

En la Figura 10 se presenta una situación típica de elección para el experimento de PD de buses, tal como era vista por los encuestados. Esta corresponde al escenario número 1, del bloque 1, para la categoría de buseta o busetón.

SELECCIÓN # 1

1	BUSETA - BUSETÓN (28 SILLAS APROX.)			
	DIESEL - ELÉCTRICO	ELÉCTRICO	DIESEL	GAS NATURAL
PORCENTAJE DE POTENCIA RESPECTO AL DIESEL	100	80	100	80
COSTO DEL VEHÍCULO	\$ 180,000,000	\$ 240,000,000	\$ 120,000,000	\$ 180,000,000
COSTO DE RECARGA	\$ 380,000	\$ 50,000	\$ 410,000	\$ 220,000
KM RECORRIDOS CON UNA RECARGA (AUTONOMÍA)	760 km	280 km	600 km	440 km
COSTO POR KM	\$ 500	\$ 179	\$ 683	\$ 500

SELECCIÓN ☒ DIESEL-ELÉCTRICO ☐ ELÉCTRICO ☐ DIESEL ☐ GAS NATURAL

Figura 10 Situación típica de elección de PD para buses

Fuente: elaboración propia

Tabla 4 Atributos y niveles utilizados en el experimento de PD de camiones

Fuente: elaboración propia

Vehículo	C2 Pequeño (4 a 7 Ton)				C2 Grande (7 a 13 Ton)				Tractocamión		
Combustible	Diésel	Híbrido	GNC	Eléctrico	Diésel	Híbrido	GNC	Eléctrico	Diésel	Híbrido	GNC
Costo (x10 ⁶ COP)	\$ 120	\$ 170	\$ 150	\$ 220	\$ 160	\$ 230	\$ 200	\$ 300	\$ 200	\$ 280	\$ 250
	\$ 140	\$ 190	\$ 170	\$ 240	\$ 190	\$ 260	\$ 230	\$ 330	\$ 230	\$ 310	\$ 280
	\$ 160	\$ 210	\$ 190	\$ 260	\$ 220	\$ 290	\$ 260	\$ 360	\$ 260	\$ 340	\$ 310
Autonomía (km)	320	500	220	120	370	600	260	170	760	870	570
	360	550	260	150	410	640	300	200	800	910	600
	400	600	300	180	450	680	340	240	840	950	630
Costo de recarga (x10 ³ COP)	\$ 160	\$ 160	\$ 70	\$ 20	\$ 300	\$ 300	\$ 150	\$ 60	\$ 930	\$ 930	\$ 470
	\$ 180	\$ 180	\$ 90	\$ 30	\$ 320	\$ 320	\$ 170	\$ 70	\$ 960	\$ 960	\$ 500
	\$ 200	\$ 200	\$ 110	\$ 40	\$ 340	\$ 340	\$ 190	\$ 80	\$ 990	\$ 990	\$ 530
Potencia (%)	100	100	80	70	100	100	80	70	100	100	80
	100	110	90	80	100	110	90	80	100	110	90
Costo/km (COP/km)	\$ 500	\$ 320	\$ 318	\$ 167	\$ 811	\$ 500	\$ 577	\$ 353	\$ 1.224	\$ 1.069	\$ 825
	\$ 500	\$ 327	\$ 346	\$ 200	\$ 780	\$ 500	\$ 567	\$ 350	\$ 1.200	\$ 1.055	\$ 833
	\$ 500	\$ 333	\$ 367	\$ 222	\$ 756	\$ 500	\$ 559	\$ 333	\$ 1.179	\$ 1.042	\$ 841
Puntos de recarga	1 / 1	1 / 1	1 / 2	1 / 3	1 / 1	1 / 1	1 / 2	1 / 3	1 / 1	1 / 1	1 / 2
	1 / 1	1 / 1	1 / 3	1 / 4	1 / 1	1 / 1	1 / 3	1 / 4	1 / 1	1 / 1	1 / 3

En la Figura 11 se presenta una situación típica de elección para el experimento de PD de camiones. Esta corresponde al escenario número 3, del bloque 2, para la categoría de un camión C2-Grande.

3	CAMIÓN DE 2 EJES - GRANDE			
	DIESEL - ELÉCTRICO	GAS NATURAL	ELÉCTRICO	DIESEL
PORCENTAJE DE POTENCIA RESPECTO AL DIESEL	110	80	80	100
PUNTOS DE RECARGA POR CADA ESTACIÓN DE DIESEL	1 de cada 1	1 de cada 3	1 de cada 3	1 de cada 1
COSTO DEL VEHÍCULO	\$ 260,000,000	\$ 200,000,000	\$ 300,000,000	\$ 220,000,000
COSTO DE RECARGA	\$ 340,000	\$ 150,000	\$ 80,000	\$ 340,000
KM RECORRIDOS CON UNA RECARGA (AUTONOMÍA)	640 km	300 km	240 km	410 km
COSTO POR KM	\$ 531	\$ 500	\$ 333	\$ 829

SELECCIÓN

☒ DIESEL-ELÉCTRICO
 ☐ GAS NATURAL
 ☐ ELÉCTRICO
 ☐ DIESEL

Figura 11 Situación típica de elección de PD para camiones

Fuente: elaboración propia

3.3. Datos

Después del proceso de depuración se obtuvo un total de 114 encuestas aplicadas a propietarios de buses, lo que resulta en 1.368 pseudo-individuos, y 119 encuestas a propietarios de camiones, correspondiente a 1.428 pseudo-individuos. De los propietarios de buses encuestados, 71 tienen buses que prestan servicios de transporte urbano, esto representa aproximadamente un 62% de la muestra. Por su parte, de los propietarios de camiones, cerca del 55% tienen camiones que prestan servicios mixtos; es decir, que transportan carga a nivel urbano e interurbano (con radio de acción nacional). Por su parte, con relación al tipo de combustible con el que trabajan los equipos que poseen los encuestados, se observa un dominio de la tecnología diésel, la cual es ampliamente utilizada para los servicios comerciales de transporte de carga y pasajeros (Tabla 5). Se encontró dentro de la muestra que el 70% de los empresarios de buses, y el 79% de los empresarios de camiones, son dueños de más del 90% de la flota de vehículos que tiene a cargo.

Tabla 5 Caracterización de los encuestados
Fuente: elaboración propia.

	Encuesta	
	Buses	Camiones
Total encuestados	114	119
Tipo de servicio		
Servicio urbano	71	20
Servicio especial	7	-
Servicio interurbano	23	34
Servicio mixto	13	65
Tipo de tecnología		
Diésel	98,0%	97,0%
GNC	1,2%	2,4%
Gasolina	0,8%	0,6%
Edad promedio	7,3	9,4
Porcentaje propio		
> 90%	80	94
Entre 50% y 90%	10	16
< 50%	27	9
Flota promedio	42	14

Como se evidencia en la Figura 12, del total de buses que posee la muestra de propietarios de buses, el 62% corresponde a busetones, los cuales en su mayoría prestan servicios de transporte público urbano. Del total de vehículos que posee la muestra de empresarios de camiones encuestada, el 50% son tracto-camiones, y el porcentaje restante, se divide equitativamente entre camiones de 2 ejes pequeños, y de 2 ejes grandes.

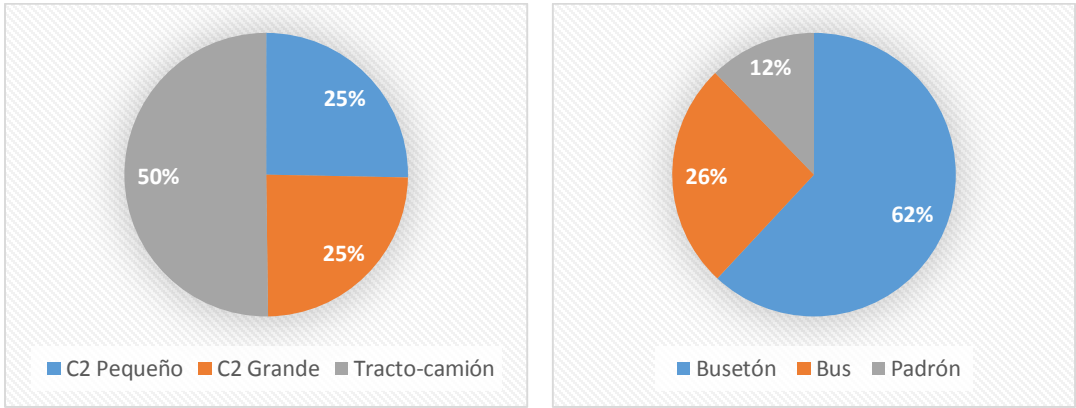


Figura 12 Izquierda: posesión de camiones por tipo. Derecha: posesión de buses por tipo
Fuente: elaboración propia

En la Tabla 6 se presentan los resultados a la pregunta relacionada con qué hace se hace cuando un vehículo (bus o camión) ha cumplido su ciclo de vida útil. Se observa que tanto los empresarios de buses como los de camiones, prefieren en su mayoría vender los vehículos cuya vida útil ha expirado a particulares o concesionarios.

Tabla 6 Resultados del numeral II.5 de la encuesta sobre características de la empresa
Fuente: elaboración propia

	Encuesta	
	Buses	Camiones
Cuando un vehículo ha cumplido su vida útil:		
Se vende a un concesionario	31%	43%
Se chatarriza	12%	9%
Se vende a un particular	34%	19%
Cualquiera de las anteriores	23%	29%

En la última parte de la sección de características de la empresa y la flota, se indagó por las características presentadas en la Figura 13, para los empresarios de buses, y las de la Figura

14, para los propietarios de camiones. La mayoría de los encuestados no cuenta con controles de emisiones, sistemas de gestión de calidad o talleres y servicios de mantenimiento propios.

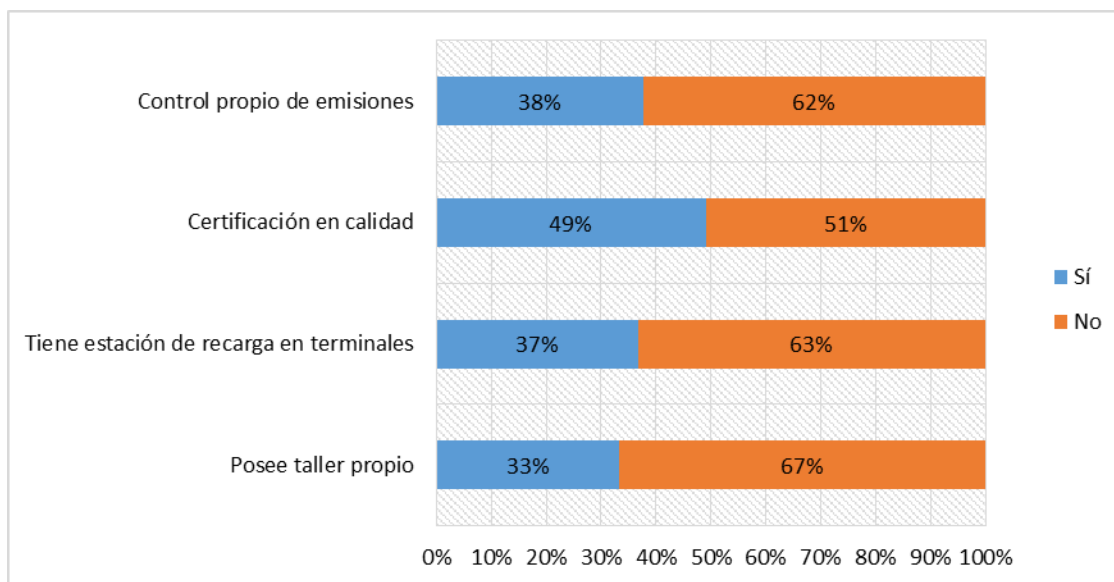


Figura 13 Resultados de la parte final de la sección de características de la empresa, para empresarios de buses
Fuente: elaboración propia

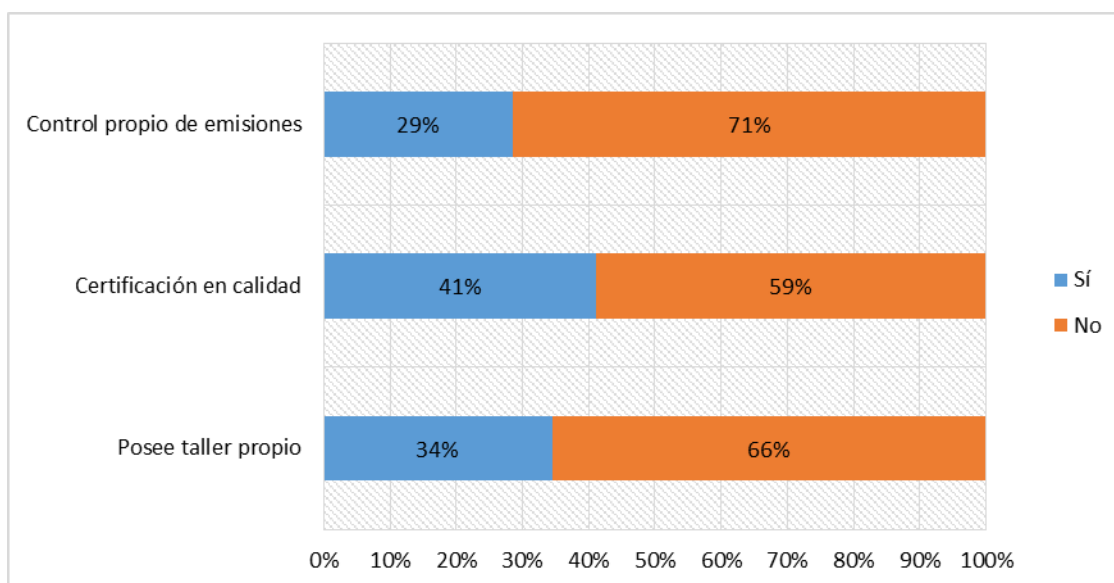


Figura 14 Resultados de la parte final de la sección de características de la empresa, para empresarios de camiones
Fuente: elaboración propia

El ejercicio presentado en la primera parte de la sección de indicadores permite entender cuáles son los aspectos principales que tiene en cuenta un empresario de transporte de carga o pasajeros cuando va a realizar la compra de un nuevo vehículo. Los propietarios de buses (Figura 15) y de camiones (Figura 16) se mostraron altamente interesados en el consumo de combustible del vehículo y el precio de compra, y en un tercer nivel de importancia se encuentra el respaldo técnico. Es decir, los atributos considerados más relevantes para los encuestados están relacionados con la inversión y la rentabilidad de la misma durante la vida útil del equipo. Aspectos como el equipamiento, la tecnología y los niveles de emisiones, quedan relegados a un segundo o tercer plano, en cuanto al nivel de interés al momento de comprar un vehículo.

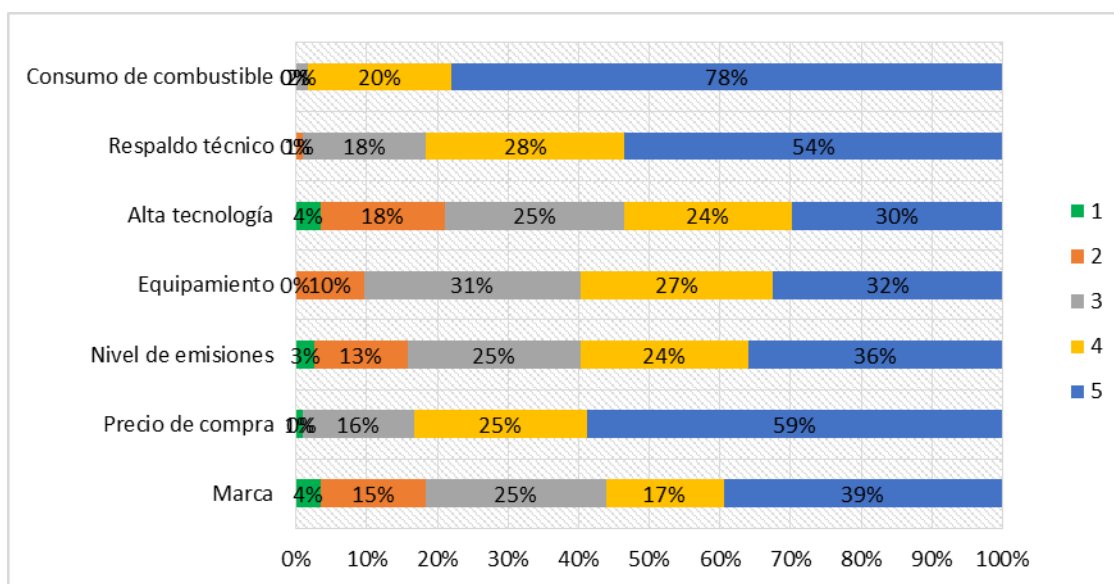


Figura 15 Características más importantes al momento de comprar un bus nuevo
Fuente: elaboración propia

Los empresarios de camiones manifestaron que el nivel de emisiones era la característica menos importante al momento de comprar un vehículo, mientras que para los empresarios de buses este atributo fue la quinta más importante de las siete presentadas. En síntesis, los resultados de la encuesta sugieren que los propietarios de vehículos comerciales desean comprar un vehículo con un buen precio, que sea económico en consumo de combustible y que tenga buen respaldo postventa.

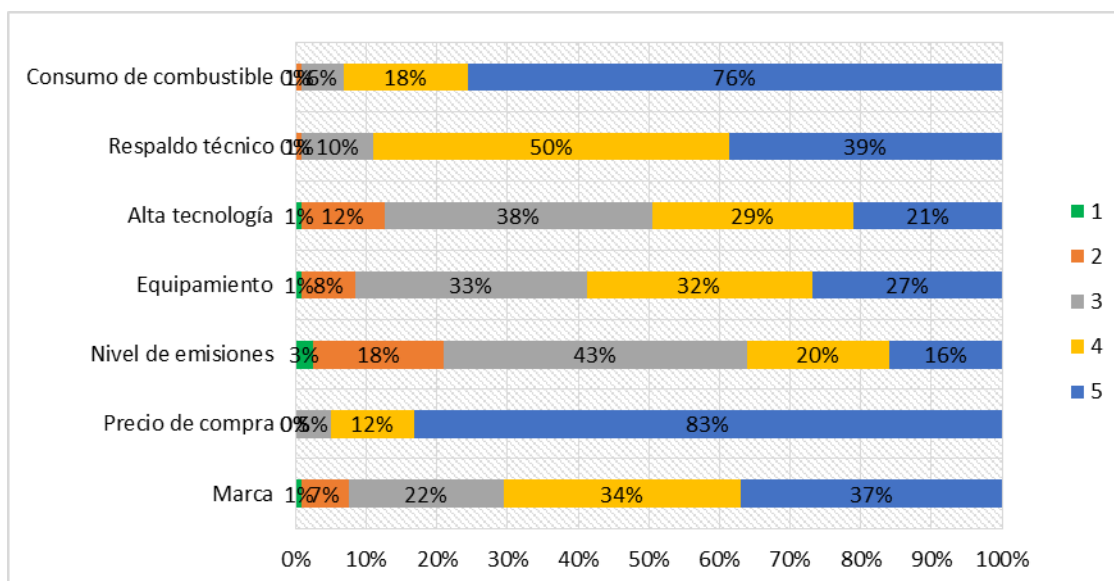


Figura 16 Características más importantes al momento de comprar un camión nuevo

Fuente: elaboración propia

En la segunda parte de la sección de indicadores, se presentaron enunciados que mostraban posiciones con relación a actitudes sobre el medio ambiente y sobre políticas relacionadas con la implementación de tecnologías limpias y la producción de combustibles más limpios que el diésel tradicional.

En la Figura 17 se observa que los propietarios de buses y de camiones muestran mayor preocupación por el costo de los vehículos, que por las características de alta tecnología de las cuales puedan estar provistos. Este resultado es consecuente con lo presentado en las figuras anteriores con relación a los intereses por el costo y la tecnología de los vehículos. Los resultados indican que tanto los empresarios de buses como los de camiones se muestran de acuerdo con que el gobierno debería subsidiar todos los combustibles, tanto el diésel convencional como otros combustibles limpios que puedan ofrecerse en el mercado. También se muestran de acuerdo con que deben existir subsidios del estado para promover las tecnologías vehiculares más limpias, manifestando desacuerdo en general con tener que pagar más por tecnologías vehiculares más limpias, como las tecnologías Euro IV o superior, o por combustibles más limpios como el diésel con contenido de azufre reducido.

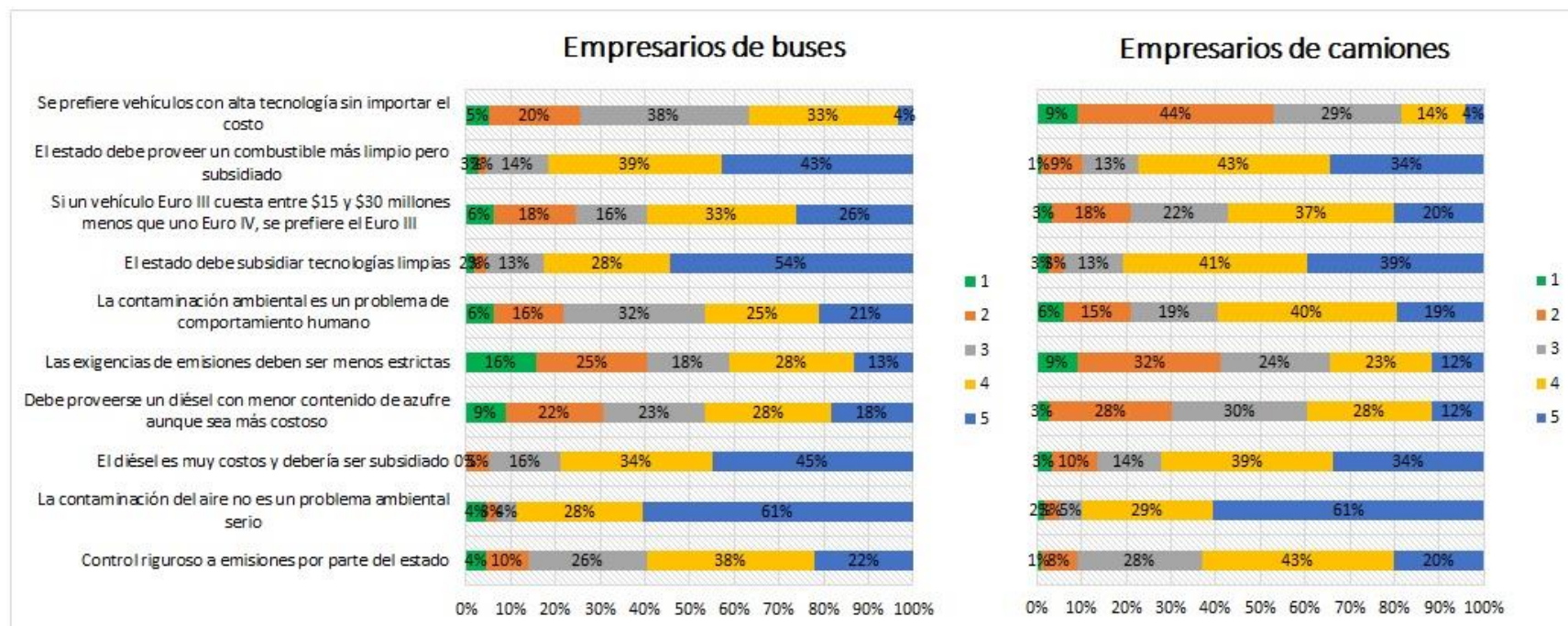


Figura 17 Respuestas de empresarios de buses y de camiones sobre grado de acuerdo o desacuerdo con los indicadores de percepción presentados

Fuente: elaboración propia

Con relación a las posiciones frente a temas de controles de emisiones y conciencia ambiental, la mayoría de los empresarios de camiones encuestados se muestran de acuerdo con que los seres humanos somos agentes de contaminación ambiental, y a su vez consideran que los controles oficiales de emisiones a los vehículos deben ser más rigurosos. Sin embargo, la mayoría de los encuestados no considera que la contaminación del aire que respira ya sea para ellos un problema serio.

El análisis de las elecciones que los encuestados realizaron en el experimento de PD muestra que la alternativa diésel fue elegida en el 45% de las situaciones de elección para el caso de buses, y 47% para los camiones. La segunda alternativa con mayor tasa de elección fue la tecnología híbrida, con 21% para los buses y 36% para los camiones (Tabla 7). Estos resultados sugieren la presencia del fenómeno de inercia (Cantillo et al., 2007) que se puede entender como la tendencia a elegir la tecnología más conocida y de mayor madurez en el mercado, evitando las tecnologías más novedosas. Se puede concluir que los encuestados consideran la alternativa híbrida (diésel-eléctrico) como un sustituto cercano, dadas las similitudes de esta tecnología con la de los vehículos diésel convencionales.

Tabla 7 Número de elecciones por alternativa de propulsión
Fuente: elaboración propia

	Encuesta	
	Buses	Camiones
Diésel	45%	47%
GNC	15%	16%
Eléctrico	18%	1%
Híbrido	21%	36%

En el caso de los buses, la alternativa que tuvo la menor tasa de elección fue la de GNC. Este comportamiento se puede asociar con el hecho de que a finales de los 80s, se realizaron numerosas adaptaciones en buses de transporte público urbano, con motores diésel y gasolina, para que trabajasen con GNC. En aquel momento, se presentaron problemas tecnológicos con las conversiones, causando pérdidas inesperadas en el rendimiento de los vehículos, lo que se tradujo en pérdidas económicas para los propietarios de los buses, generando aversión al uso del GNC en buses. Esta situación fue mencionada por muchos encuestados cuando diligenciaban la encuesta.

Los propietarios de camiones, por su parte, eligieron sólo en el 1% de todos los escenarios de elección presentados, la alternativa eléctrica. Esto se puede asociar a que la mayoría de los propietarios de camiones poseen tracto-camiones y camiones de dos ejes grandes, los cuales son vehículos que transportan carga pesada, en distancias generalmente extensas. La alternativa eléctrica era la que ofrecía menor autonomía y relación de potencia.

4. ESPECIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN DE MODELOS

En este capítulo se presenta los modelos especificados y estimados para evaluar los factores que afectan la toma de decisión al momento de escoger una tecnología vehicular para buses y camiones. Con los modelos se podrán determinar probabilidades de elección de cada una de las alternativas consideradas en el experimento bajo escenarios específicos y, de acuerdo con los resultados encontrados, será posible proponer estrategias para incentivar la penetración en el mercado de tecnologías de propulsión más limpias para vehículos comerciales. Las alternativas son Diésel (1), GNC (2), Eléctrico (3) e Híbrido (4).

Inicialmente se presentan los modelos para buses, seguidamente para camiones y finalmente combinando los datos de ambas tipologías vehiculares a través de un factor de escala (Hensher et al., 1999). A partir de la base del modelo conjunto, se estimaron modelos híbridos incluyendo el efecto de variables latentes relacionadas con la preocupación ambiental (PA) y el interés único en maximizar utilidad de la firma (MUF).

4.1. Modelos para camiones

Se especificó un modelo logit multinomial el cual incluye los atributos definidos en el experimento de PD como variables explicativas. Además, se consideró la interacción de la variable “puntos de recarga” con la variable *dummy* “TURB”, la cual toma el valor de 1, si el tipo servicio que prestan los vehículos del encuestado son de tipo interurbano, implicando recorrido extensos, y 0 en otro caso.

Al analizar el modelo logit multinomial M1 los signos de los atributos resultaron consistentes (Tabla 8). Nótese que los coeficientes de los atributos *costo* y *costo/km* presentan signo negativo, lo cual implica que al aumentar los costos de las alternativas, su utilidad esperada disminuye. Los coeficientes de la autonomía, la potencia y de los puntos de recarga, presentan signo positivo, es decir, que el aumento de estos atributos hace más atractiva una alternativa. Las variables potencia y puntos de recarga son específica.

El parámetro de la disponibilidad de puntos de recarga para la alternativa eléctrica no resultó significativo al 95%, sugiriendo que tal atributo no es relevante para los encuestados

en el proceso de elección. Los valores negativos de las constantes específicas (ASC) de las alternativas GNC y Eléctrico sugieren que hay factores no observados que la hacen menos atractivas que el Diésel (tomado como referencia) *ceteris paribus*. Entretanto, la constante específica del camión híbrido no resultó significativamente diferente de cero, denotando que es percibida similar al Diésel.

Tabla 8 resultados de los modelos de camiones
Fuente: elaboración propia

Variable	M1	M2-Panel
	Valor (t-robusto)	Valor (t-robusto)
ASC Diésel	<i>Fijado</i>	<i>Fijado</i>
(1)	-	-
ASC GNC	-5,97	-9,60
(2)	(-4,45)	(-12,64)
ASC Eléctrico	-8,56	-9,88
(3)	(-2,08)	(-9,22)
ASC Híbrido	0,475	0,446
(4)	(2,72)	(0,99)
Costo ($\times 10^8$ COP)	-2,27	-3,16
(1,2,3,4)	(-13,49)	(-8,06)
Costo/km ($\times 10^3$ COP/km)	-1,17	-3,25
(1,2,3,4)	(-2,50)	(-3,95)
Autonomía ($\times 10^2$ km)	0,206	0,203
(1,2,3,4)	(2,43)	(1,27)
Potencia eléctrico (% Potencia Diésel)	0,104	0,114
(3)	(1,95)	(7,49)
Potencia GNC (% Potencia Diésel)	0,0648	0,0988
(2)	(4,18)	(7,59)
Puntos recarga eléctrico (Por cada punto Diésel)	1,13	1,09
(3)	(0,67)	(0,75)
Puntos recarga GNC (Por cada punto Diésel)	1,11	1,48
(2)	(3,23)	(1,30)
Varianza error Efecto Panel (σ)		1,22
(1,2,3,4)		(9,19)
No. Parámetros	10	11
Observaciones	1.428	1.428
Log-likelihood	-1.370,42	-1.212,61

Teniendo en cuenta que a cada encuestado se le presentaron 12 situaciones de elección en el experimento de PD, resulta relevante considerar que existe correlación entre las respuestas de cada uno de los individuos, por lo cual se decidió incluir este efecto panel dentro del modelo de elección. Para esto, se incluyó una nueva especificación adicionando un componente de error en cada una de las alternativas, con la misma varianza de tal manera que se estructuró correlaciona las respuestas de un mismo individuo, pero sin correlaciones entre alternativas. En la Tabla 8 se presentan los resultados del modelo denominado M2-Panel, incluyendo la varianza de los términos de error.

Al comparar la log-verosimilitud del modelo logit multinomial simple, con el modelo con efecto panel, se observa claramente que este último mejora ostensiblemente la bondad de ajuste. En términos generales, los coeficientes de los atributos obtenidos en este modelo siguen la tendencia de los obtenidos en el modelo logit multinomial. Se puede concluir que la inclusión del efecto panel ofrece una mejor representación de la estructura de elección de los empresarios de camiones.

4.2. Modelos para buses

Se estimó un modelo logit multinomial a partir de los datos de las encuestas aplicadas a empresarios de buses, el cual se presenta en la Tabla 9, identificado como M3. Los resultados obtenidos presentan un comportamiento esperado, en términos de los signos de los coeficientes de los atributos. Los parámetros relacionados con variables de costo monetario (*costo* y *costo/km*) tienen signo negativo. Por su parte, se esperaba que el signo del parámetro del atributo “porcentaje de potencia” fuese positivo, teniendo en cuenta que el aumento de este atributo representa un incremento en la utilidad esperada.

La autonomía fue incluida en una versión preliminar del modelo, pero su parámetro no resultó significativo (valor $p = 0,35$), sugiriendo que éste no fue relevante para los encuestados. El atributo se incluyó en el modelo, en interacción con una variable *dummy* que tomaba el valor de 1 si el bus prestaba servicios de transporte interurbano, considerando que los buses urbanos en Colombia recorren distancias relativamente cortas por cada ciclo. Por ejemplo, en Bogotá un bus recorre en promedio menos de 180 kilómetros por día en aproximadamente 5 ciclos (Ardila, 2005). Teniendo en cuenta que el

menor valor de la “autonomía” en cada situación de elección y cada alternativa era suficiente para completar una ruta de transporte público urbano típica sin necesidad de recargar durante el recorrido de la misma, es posible que esta variable no fuera relevante para los encuestados en estos casos, lo cual puede explicar que el parámetro estimado para el atributo “autonomía” no fue significativo al nivel de confianza del 95%. La potencia se definió como variable específica para los buses eléctricos y GNC

Tabla 9 Resultados de los modelos de buses
Fuente: elaboración propia

	M3	M4-Panel
Variable	Valor (t-robusto)	Valor (t-robusto)
ASC Diésel	<i>Fijado</i>	<i>Fijado</i>
(1)	-	-
ASC GNC	-3,63	-5,33
(2)	(-2,77)	(-14,69)
ASC Eléctrico	-1,76	-3,78
(3)	(-1,52)	(-7,28)
ASC Híbrido	-0,210	0,282
(4)	(-1,25)	(1,90)
Costo ($\times 10^8$ COP)	-1,29	-2,84
(1,2,3,4)	(-6,62)	(-7,45)
Costo/km ($\times 10^3$ COP/km)	-1,73	-2,09
(1,2,3,4)	(-2,58)	(-2,05)
Potencia eléctrico (% Potencia Diésel)	0,0187	0,0536
(3)	(1,29)	(7,51)
Potencia GNC (% Potencia Diésel)	0,0322	0,0509
(2)	(2,11)	(11,86)
Autonomía Interurbano ($\times 10^2$ km)	0,0279	0,0597
(2,3)	(0,87)	(0,56)
Efecto Panel (σ)		-1,95
(1,2,3,4)		(-10,98)
No. Parámetros	8	9
Observaciones	1.368	1.368
Log-likelihood	-1.728,647	-1.261,248

El nivel de significancia de los parámetros del modelo sugiere que los encuestados son muy sensibles a las variables de costo. Un resultado interesante se relaciona con el parámetro del “porcentaje de potencia”, del cual se espera que sea importante para los propietarios de buses en Colombia al momento de comprar un nuevo vehículo, dada la diversa topografía

en muchas ciudades de Colombia, la cual tienen que sortear diariamente los buses de transporte público urbano.

Considerando que la constante específica de la alternativa GNC es significativa y tiene signo negativo, puede inferirse que, *ceteris paribus*, es menos atractiva que la opción Diésel. Este resultado apoya el argumento de que los empresarios tienen reservas hacia la tecnología GNC, por experiencias negativas en el pasado. Por otra parte, las constantes específicas de las alternativas eléctrica e híbrida no resultaron significativas al nivel de confianza del 95% lo cual sugiere que, *ceteris paribus*, no hay una clara preferencia por este tipo de tecnologías de propulsión cuando son comparados con la alternativa base diésel.

Se plantó un modelo de elección discreta aplicado a buses, incluyendo el efecto de panel de datos, teniendo en cuenta que se espera que las respuestas a las situaciones de elección de un mismo individuo estén correlacionadas. El modelo con panel de datos se denominó M4-Panel y sus resultados se presentan en la Tabla 9, notando que hay una importante mejora en los indicadores de bondad de ajuste.

4.3. Modelos combinando datos de buses y camiones

Con el propósito de llevar a cabo un análisis conjunto, se estimó un modelo que incluye datos provenientes de encuestas de propietarios de buses y de camiones de forma simultánea. Para ello, inicialmente se especificó y estimó el modelo denominado M5 que se presenta en la Tabla 10 en el cuales se incluye un factor de escala que afecta la utilidad de los buses, a fin de igualar las varianzas. El factor de escala de los camiones se normaliza en 1 (Hensher et al., 1999). El modelo M6-Panel también combina datos de buses y camiones, pero considera la correlación entre las observaciones del mismo individuo. Claramente el indicador de bondad de ajuste es superior en el modelo con efecto panel.

A su vez, el parámetro de los puntos de recarga interurbano de las alternativas GNC y Eléctrica, corresponde a la interacción entre el atributo de disponibilidad de estaciones de recarga con la variable *dummy* que vale 1 si el servicio que prestan los camiones es de tipo interurbano y 0 en otro caso.

Tabla 10 resultados de los modelos conjuntos de buses y camiones
Fuente: elaboración propia

	M5	M6-Panel
Variable	Valor (t-robusto)	Valor (t-robusto)
ASC _{BUS} Diésel (1 Bus)	<i>Fijado</i> -	<i>Fijado</i> -
ASC _{BUS} GNC (2 Bus)	-3,67 (-2,53)	-0,289 (-0,07)
ASC _{BUS} Eléctrico (3 Bus)	-3,49 (-2,30)	-2,11 (-2,30)
ASC _{BUS} Híbrido (4 Bus)	-0,112 (-0,52)	0,113 (0,14)
ASC _{CAMIÓN} Diésel (1 Camión)	<i>Fijado</i> -	<i>Fijado</i> -
ASC _{CAMIÓN} GNC (2 Camión)	-0,150 (-0,58)	-0,873 (-0,24)
ASC _{CAMIÓN} Eléctrico (3 Camión)	-0,297 (-0,59)	-1,10 (-0,19)
ASC _{CAMIÓN} Híbrido (4 Camión)	0,289 (1,62)	0,228 (0,66)
Costo (x10 ⁸ COP) (1,2,3,4 Bus – Camión)	-2,16 (-13,19)	-3,16 (-6,41)
Costo/km (x10 ³ COP/km) (1,2,3,4 Bus – Camión)	-1,2 (-2,77)	-3,38 (-2,51)
Autonomía bus eléctrico (x10 ² km) (3 Bus)	1,53 (3,02)	1,05 (2,23)
Autonomía bus GNC (x10 ² km) (2 Bus)	0,667 (2,32)	-0,0183 (-0,02)
Autonomía camión (x10 ² km) (1,2,3,4 Camión)	0,185 (2,22)	0,166 (0,31)
Potencia (% Potencia Diésel) (1,2,3,4 Bus – Camión)	0,0252 (3,24)	0,0409 (0,78)
Puntos recarga interurbano _{GAS} (2, Camión)	1,13 (3,31)	1,49 (1,21)
Puntos recarga interurbano _{ELECTRICO} (3 Camión)	1,20 (0,69)	1,42 (0,08)
Factor Escala (1,2,3,4 Bus)	0,640 (6,35)	0,821 (2,24)
Efecto Panel (σ) (1,2,3,4 Bus – Camión)		1,61 (8,45)
No. Parámetros	15	16
Observations	2.796	2.796
Final log-likelihood	-3.100,966	-2.494,929

En ambos modelos los signos de los parámetros fueron según lo esperado acorde con la teoría microeconómica. El parámetro estimado de la disponibilidad de puntos de recarga sugiere que a los encuestados cuyos vehículos prestan servicios de transporte de carga a nivel interurbano son sensibles a este atributo al momento de elegir un vehículo con tecnología GNC. Para el caso de la alternativa eléctrica, no se muestra una posición clara con respecto a este atributo, teniendo en cuenta que su parámetro no resultó significativo a un nivel de confianza del 95%.

Se puede afirmar que la autonomía resulta relevante para los propietarios de camiones al momento de elegir un vehículo nuevo de alguna de las alternativas presentadas, mientras que a los propietarios de buses les preocupa este atributo al momento de elegir un bus propulsado por energía eléctrica o GNC. Por su parte, la potencia se muestra como un atributo considerado al momento de comprar un vehículo nuevo, pero pierde relevancia en el modelo con efecto panel.

4.4. Modelo de elección híbrido

A partir de la especificación básica de los modelos de elección presentados en los numerales anteriores mezclando ambas bases de datos, se estructuraron dos modelos híbridos incorporando el efecto de variables latentes. El modelo MVL1 (Figura 18) incorpora un modelo MIMIC de una sola variable latente asociada con la preocupación ambiental (PA). Por su parte, el modelo MVL2 (Figura 19) cuenta con un modelo MIMIC que adiciona una segunda variable latente la cual está relacionada con el comportamiento de interés en maximizar la utilidad de la firma (MUF). Esta segunda variable recoge el efecto de las actitudes de los individuos o empresarios cuyo interés fundamental es obtener la mayor utilidad posible, sin mayor atención a otras consideraciones; en cierta medida, es una variable relacionada con conductas avaras.

A los dos modelos híbridos estimados se les incorporó el efecto de panel de datos, teniendo en cuenta la correlación entre las respuestas de un mismo individuo, la cual ha sido evidente en los modelos estimados previamente. En la Tabla 11 se presenta un listado de las variables incluidas en el modelo MVL1. En la Tabla 12 se presenta lo correspondiente para el modelo MVL2.

Para definir los indicadores que se incluirían en los modelos híbridos se realizaron análisis factoriales exploratorios de componentes principales, de uno y dos factores utilizando el software IBM-SPSS ®. A partir de estos análisis se explicaría la mayor parte de la varianza posible del conjunto de variables. Los indicadores incluidos dentro del modelo híbrido, para definir las ecuaciones de medición, fueron los que arrojaron las comunales más altas, las cuales se encuentran entre 0,26 y 0,52.

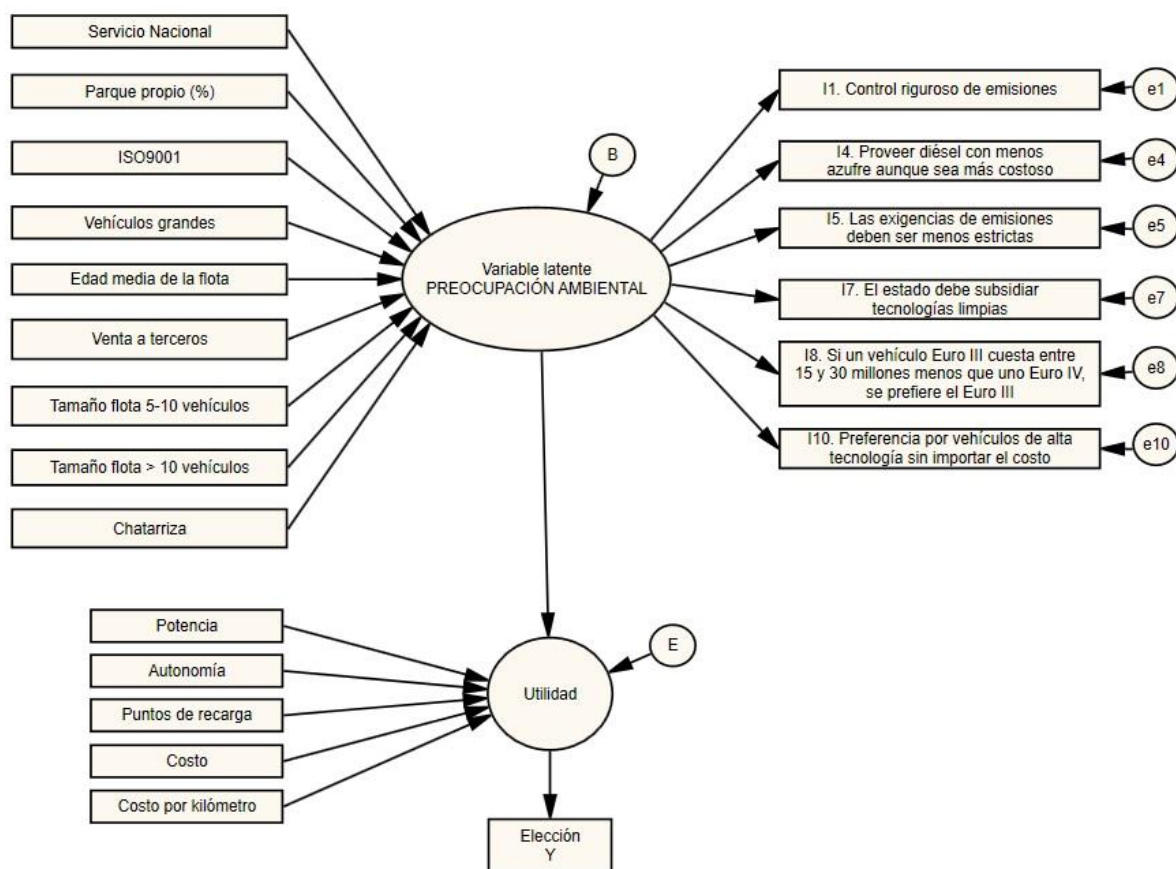


Figura 18 Estructura del modelo híbrido MVL1
Fuente: elaboración propia

Tabla 11 variables incluidas en el modelo híbrido MVL1

Fuente: elaboración propia

Variable	Descripción
Servicio Nacional	1: si presta servicio de transporte con radio de acción nacional / 0: otro caso
Parque propio (%)	Porcentaje de la flota que pertenece a la empresa
ISO9001	1: si cuenta sistema de gestión de calidad / 0: otro caso
Vehículos grandes	1: si posee tracto-camión o bus padrón / 0: otro caso
Edad media de flota	Edad promedio en años de los vehículos que posee el encuestado
Venta a Terceros	1: si vende vehículo que cumplió su vida útil a tercero / 0: otro caso
Tamaño flota 5-10 vehículos	1: si el tamaño de flota está entre 5 y 10 vehículos / 0: otro caso
Tamaño flota > 10 vehículos	1: si el tamaño de flota es mayor a 10 vehículos / 0: otro caso
Chatarriza	1: si chatarriza vehículo que cumplió su vida útil / 0: otro caso
Coefficiente γ_{ilp}	coeficiente de la variable latente que explica el indicador y_{ipq}
Umbral τ_c	umbral del indicador y_{ipq}
$ASC_{CAMIÓN\ T}$	constante específica de la alternativa tecnológica T de los camiones
$ASC_{BUS\ T}$	constante específica de la alternativa tecnológica T de los buses
Variable latente preocupación ambiental _T	variable latente 'preocupación ambiental' de la alternativa tecnológica T

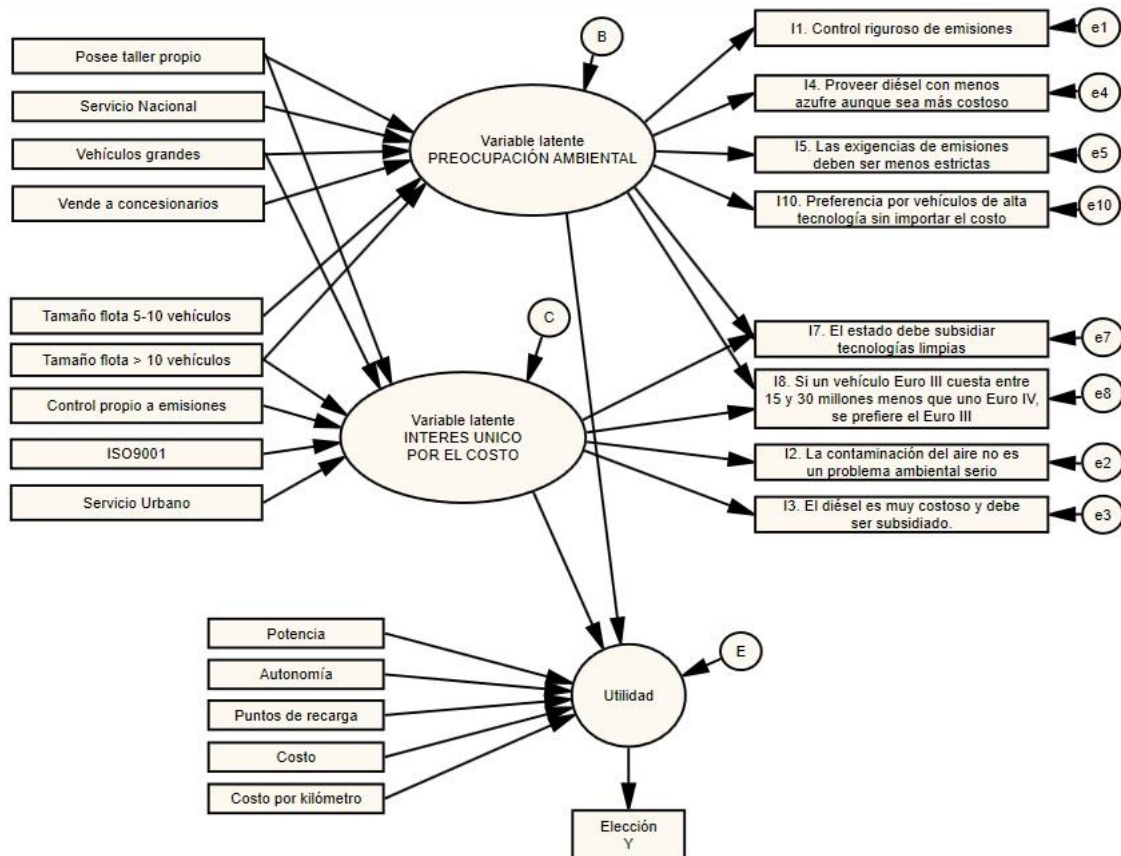


Figura 19 Estructura del modelo híbrido MVL2

Fuente: elaboración propia

Tabla 12 variables incluidas en el modelo híbrido MVL2
Fuente: elaboración propia

Variable	Descripción
Posee taller propio (PA)	1: si cuenta con taller propio / 0: otro caso
Servicio nacional (PA)	1: si presta servicio de transporte con radio de acción nacional / 0: otro caso
Vehículos grandes (PA)	1: si posee tracto-camión o bus padrón / 0: otro caso
Venta a Concesionarios (PA)	1: si vende vehículo que cumplió su vida útil a concesionario / 0: otro caso
Tamaño flota 5-10 vehículos (PA)	1: si el tamaño de flota está entre 5 y 10 vehículos / 0: otro caso
Tamaño flota > 10 vehículos (PA)	1: si el tamaño de flota es mayor a 10 vehículos / 0: otro caso
Posee taller propio (MUF)	1: si cuenta con taller propio / 0: otro caso
Vehículos grandes (MUF)	1: si posee tracto-camión o bus padrón / 0: otro caso
Tamaño flota > 10 vehículos (MUF)	1: si el tamaño de flota es mayor a 10 vehículos / 0: otro caso
Control propio a emisiones (MUF)	1: si hace control a emisiones de gases del parque de veh. / 0: otro caso
ISO9001 (MUF)	1: si cuenta sistema de gestión de calidad / 0: otro caso
Servicio Urbano (MUF)	1: si presta servicio de transporte urbano / 0: otro caso
Coefficiente γ_{ilp}	coeficiente de la variable latente l que explica el indicador y_{ipq}
Umbral τ_{cl}	umbral del indicador y_{ipq} para la variable latente l
$ASC_{CAMIÓN\ T}$	constante específica de la alternativa tecnológica T de los camiones
$ASC_{BUS\ T}$	constante específica de la alternativa tecnológica T de los buses
Variable latente PA_T	variable latente 'preocupación ambiental' de la alternativa tecnológica T
Variable latente MUF_T	variable latente 'interés único en maximizar utilidad de la firma' de la alternativa tecnológica T

En los modelos híbridos se utilizó un logit ordinal para la estimación de las ecuaciones de medición que relacionan de las variables latentes con los indicadores de percepción obtenidos de la encuesta. Los indicadores, que en el capítulo 1 aparecen con 5 categorías de calificación con las que fueron presentados a los encuestados, se agruparon en 3 categorías como se muestra en la Tabla 13. Teniendo en cuenta que los indicadores son de tipo categórico, las ecuaciones de medición se pueden estimar mediante la definición de umbrales para la variable latente continua. Dado que los indicadores ajustados presentan 3 categorías es necesario estimar 2 umbrales para cada uno de ellos.

Tabla 13 Categorías de indicadores ajustados
Fuente: elaboración propia

Categorías de calificación de indicadores	Categorías ajustadas
1-2	1
3	2
4-5	3

En la Tabla 14 se presentan los resultados de la estimación de los modelos híbridos MVL1 y MVL2, la cual se realizó por el método simultáneo. Las ecuaciones estructurales del modelo MIMIC tienen una transformación exponencial, a fin de garantizar que su valor es siempre positivo.

Se observan rasgos similares a los obtenidos en el modelo M6-Panel. Nuevamente, los parámetros de los atributos de costo monetario (*costo* y *costo/km*) fueron significativos al nivel de confianza del 95% y presentaron signo negativo. El parámetro del *porcentaje de potencia* sugiere que este es un atributo relevante para los encuestados que tiende a aumentar la utilidad percibida. Además, se infiere a partir del resultado obtenido para el parámetro del atributo de *puntos de recarga*, que los propietarios de camiones que prestan servicios interurbanos consideran este atributo relevante al momento de elegir un vehículo nuevo con tecnología GNC.

De las constantes específicas de las alternativas tecnológicas de camiones, sólo resultó significativa la del Eléctrico, en el modelo MVL1, para un nivel de confianza mayor al 95%, la cual presentó signo negativo. Es notable la mejora en la log-verosimilitud del modelo al introducir la variable latente preocupación ambiental, indicando que el modelo estimado tiene mayor poder explicativo.

Los modelos híbridos estimados demuestran que la incorporación de los componentes de percepción a través de las variables latentes de Preocupación Ambiental y Maximizar Utilidad de la Firma representan una mejor aproximación de la estructura de elección de los empresarios de buses y camiones al momento de comprar un vehículo comercial nuevo, escogiendo entre las alternativas de vehículos propulsados por tecnologías más limpias consideradas en esta investigación. La log-verosimilitud de los modelos MVL1 y MVL2 presentó un aumento significativo al compararlas con la obtenida en el modelo M6-Panel. En general, los parámetros de las variables latentes incluidas en los modelos híbridos fueron significativos al nivel de confianza del 95%, lo cual sugiere que las actitudes representadas a través de las variables latentes incluidas en el modelo son relevantes en la estructura de elección de los encuestados.

Tabla 14 resultados de los modelos híbridos
Fuente: elaboración propia

	MVL1	MVL2
Variable	Valor (t)	Valor (t)
ASC _{CAMIÓN} GNC	-0,6378	0,8092
(2 Camión)	(-1,38)	(1,32)
ASC _{CAMIÓN} Eléctrico	-2,6925	-1,0447
(3 Camión)	(-2,09)	(-1,09)
ASC _{CAMIÓN} Híbrido	-0,0623	-0,5290
(4 Camión)	(-0,17)	(-1,52)
ASC _{BUS} GNC	0,0752	1,2041
(2 Bus)	(0,22)	(2,19)
ASC _{BUS} Eléctrico	-1,5699	-2,1643
(3 Bus)	(-0,82)	(-1,18)
ASC _{BUS} Híbrido	0,3555	-0,3630
(4 Bus)	(1,17)	(-0,91)
Autonomía bus eléctrico (x10 ² km)	0,6181	0,8512
(3 Bus)	(1,08)	(1,45)
Autonomía camión (x10 ² km)	0,3074	0,2519
(1,2,3,4 Camión)	(2,26)	(1,79)
Puntos recarga interurbano _{Eléctrico}	0,9882	1,1284
(3 Camión)	(0,29)	(0,35)
Puntos recarga interurbano _{Gas}	1,4987	0,9000
(2, Camión)	(1,99)	(1,11)
Costo (x10 ⁸ COP)	-2,7797	-2,8432
(1,2,3,4 Bus – Camión)	(-14,87)	(-14,96)
Costo/km (x10 ³ COP/km)	-2,1500	-2,4818
(1,2,3,4 Bus – Camión)	(-3,54)	(-3,83)
Potencia (% Potencia Diésel)	0,0332	3,4073
(1,2,3,4 Bus – Camión)	(4,58)	(4,55)
Factor Escala	1,1601	1,0945
(1,2,3,4 Bus)	(11,64)	(10,94)
Var. Latente PA _{GNC}	0,7107	0,4288
(2,3,4 Bus – Camión)	(3,19)	(1,45)
Var. Latente PA _{Eléctrico}	2,6429	1,6050
(2,3,4 Bus – Camión)	(6,36)	(5,01)
Var. Latente PA _{Híbrido}	0,5896	0,7532
(2,3,4 Bus – Camión)	(3,10)	(3,47)
Var. Latente MUF _{GNC}	-	-1,9856
(2,3,4 Bus – Camión)	-	(-3,46)
Var. Latente MUF _{Eléctrico}	-	-2,2223
(2,3,4 Bus – Camión)	-	(-4,15)
Var. Latente MUF _{Híbrido}	-	-0,2600
(2,3,4 Bus – Camión)	-	(-2,25)
Efecto Panel (σ)	1,1636	0,8865
(1,2,3,4 Bus – Camión)	(12,83)	(8,79)
Número de parámetros modelo híbrido	45	63
Número de parámetros componente de elección	18	21
Log-verosimilitud	-3.702,84	-4.310,22
Log-verosimilitud componente de elección	-2.467,55	-2.451,81

Los parámetros estimados de la variable latente de preocupación ambiental en el modelo de elección presentaron signos positivos. Ello indica que los empresarios de vehículos comerciales, buses y camiones, sensibles a la problemática ambiental son más afines con la elección de tecnologías de propulsión más limpias. Aunque su interés último sea el de hacer la firma rentable, están dispuestos a realizar inversiones en equipos que generen un menor impacto ambiental.

Los parámetros de la variable latente de interés único en maximizar utilidad de la firma permiten concluir que los propietarios de vehículos comerciales afines con esta actitud son menos atraídos por los vehículos propulsados por energías alternativas, lo cual es comprensible teniendo en cuenta que los vehículos con tecnologías más limpias de propulsión son más costosos que aquellos propulsados por tecnologías diésel tradicional. Los empresarios con esta característica están poco dispuestos a sacrificar la utilidad de la firma para mejorar la calidad del medio ambiente.

En general, algunos parámetros de las características de los empresarios de transporte encuestados no resultaron significativos en la estimación de las ecuaciones estructurales. Esto concuerda con la dificultad de encontrar características de los encuestados que expliquen adecuadamente las variables latentes incluidas en los modelos, manifestada por Walker (2001).

Los resultados de las ecuaciones estructurales se presentan en la Tabla 15, a partir de los cuales se infiere que los empresarios de transporte comercial que poseen mayor porcentaje propio del parque de vehículos, vehículos grandes (tracto-camiones o buses padrón) y tamaños de flota superiores a 5 vehículos, tienen una mayor preocupación ambiental y por lo tanto se inclinan por la elección de las tecnologías de propulsión alternativas. En contraste, los empresarios que prestan servicios de transporte con radio de acción nacional, que tienen taller propio o que venden los vehículos que han cumplido su ciclo de vida útil a un concesionario o comercializadora de vehículos, se asocian con actitudes menos pro ambiental.

Tabla 15 Resultados de ecuaciones estructurales
Fuente: elaboración propia

		MVL1	MVL2
VL		Valor (t)	Valor (t)
PA	Servicio nacional	-0,07651 (-0,54)	-0,2331 (-1,51)
	Parque propio (%)	0,003085 (1,15)	- -
	ISO9001	-0,33253 (-2,40)	- -
	Vehículos grandes	0,54348 (2,61)	0,3814 (1,76)
	Edad media de flota (años)	-0,0071621 (-0,62)	- -
	Venta a Terceros	0,0091482 (0,065)	- -
	Tamaño flota 5-10 vehículos	0,33851 (1,84)	0,5010 (2,88)
	Tamaño flota > 10 vehículos	0,63157 (3,18)	0,7518 (4,22)
	Chatarriza	-0,33236 (-1,70)	- -
	Posee taller propio	- -	-0,3471 (-2,40)
	Vende a concesionarios	- -	-0,2067 (-1,72)
	Posee taller propio	- -	-0,0565 (-0,29)
	Tamaño flota > 10 vehículos	- -	0,0860 (0,36)
	Control propio a emisiones	- -	-0,1947 (-1,00)
MUF	ISO9001	- -	-0,6020 (-3,01)
	Servicio urbano	- -	0,0667 (0,45)
	Vehículos grandes	- -	0,0454 (0,26)

Con relación a las actitudes de maximizar utilidad de la firma, se infiere a partir de los resultados de las ecuaciones estructurales del modelo MVL2 que los empresarios que en sus organizaciones implementan sistemas de gestión de calidad, son menos afines con estas actitudes, lo cual indica que su visión empresarial es más amplia. Por su parte, se podría sugerir que aquellos propietarios de vehículos comerciales que poseen flotas de más de 10 vehículos, que prestan servicios urbanos y que poseen vehículos tipo tracto-camión o buses padrones muestran acuerdo con actitudes relacionadas con maximizar utilidad de la firma como preocupación e interés supremo.

Tabla 16 Resultado de ecuaciones de medición del modelo MVL1

Indicador	Parámetro γ_{ilp}	Valor	t
I1, Control riguroso de emisiones	γ_{1PA}	1,9457	4,1090
	τ_{1-I1_PA}	-2,7382	-3,6377
	τ_{2-I1_PA}	-0,2315	-0,3591
I4, Proveer diésel con menos azufre aunque sea más costoso	γ_{4PA}	1,6082	4,7253
	τ_{1-I4_PA}	-0,8144	-1,4952
	τ_{2-I4_PA}	0,8953	1,6199
I5, Las exigencias de emisiones deben ser menos estrictas	γ_{5PA}	0,8501	4,6095
	τ_{1-I5_PA}	-0,2793	-0,9072
	τ_{2-I5_PA}	1,3750	4,2135
I10, Preferencia por vehículos de alta tecnología sin importar el costo	γ_{10PA}	-0,5225	-3,3597
	τ_{1-I10_PA}	-0,5279	-2,3717
	τ_{2-I10_PA}	0,4124	1,8842
I7, El estado debe subsidiar tecnologías limpias	γ_{7PA}	0,7859	3,3582
	τ_{1-I7_PA}	-2,9922	-7,4008
	τ_{2-I7_PA}	-1,4697	-4,7131
I8, Si un vehículo Euro III cuesta entre 15 y 30 millones menos que uno Euro IV, se prefiere el Euro III	γ_{8PA}	-1,1638	-4,7536
	τ_{1-I8_PA}	-1,9030	-4,0612
	τ_{2-I8_PA}	-0,7564	-1,7788

Los resultados de la estimación de las ecuaciones de medición obtenidos para el modelo MVL1 (Tabla 16) muestran que existe una relación estrecha entre la variable latente PA y los indicadores, los cuales son bien explicados por dicha variable. Los signos de los coeficientes γ_{ilp} , son coherentes con la orientación de los indicadores. Los indicadores 1, 4, 7 y 10, expresan posiciones a favor de la preocupación ambiental y la tecnología relacionada con los combustibles y emisiones vehiculares. Los indicadores 5 y 7, presentan

posiciones en contra de lo que se entendería como pro-ambiental, lo cual es consistente con el signo negativo de los coeficientes.

Tabla 17 Resultado de ecuaciones de medición del modelo MVL2

Indicador	Parámetro γ_{ilp}	Valor	t
I1, Control riguroso de emisiones	γ_{1PA}	1,4379	1,7443
	τ_{1-I1_PA}	-0,6801	-1,2601
	τ_{2-I1_PA}	1,2362	1,7063
I4, Proveer diésel con menos azufre aunque sea más costoso	γ_{4PA}	2,5973	1,4885
	τ_{1-I4_PA}	1,6084	1,2991
	τ_{2-I4_PA}	3,7816	1,7521
I5, Las exigencias de emisiones deben ser menos estrictas	γ_{5PA}	-0,2753	-2,2111
	τ_{1-I5_PA}	-0,8378	-3,7095
	τ_{2-I5_PA}	0,0827	0,3953
I10, Preferencia por vehículos de alta tecnología sin importar el costo	γ_{10PA}	0,5065	2,9258
	τ_{1-I10_PA}	0,2948	1,2474
	τ_{2-I10_PA}	1,9118	6,2118
I7, El estado debe subsidiar tecnologías limpias	γ_{7PA}	0,9865	2,3769
	τ_{1-I7_PA}	-1,9154	-4,5925
	τ_{2-I7_PA}	-0,4045	-1,1050
I8, Si un vehículo Euro III cuesta entre 15 y 30 millones menos que uno Euro IV, se prefiere el Euro III	γ_{8PA}	-0,6099	-3,0135
	τ_{1-I8_PA}	-2,4037	-6,4379
	τ_{2-I8_PA}	-1,2986	-4,4015
I7, El estado debe subsidiar tecnologías limpias	γ_{7IUC}	9,2941	0,7335
	τ_{1-I7_MUF}	0,3862	0,1468
	τ_{2-I7_MUF}	2,6229	0,6574
I8, Si un vehículo Euro III cuesta entre 15 y 30 millones menos que uno Euro IV, se prefiere el Euro III	γ_{8IUC}	0,0793	0,2053
	τ_{1-I8_MUF}	-1,1223	-2,2781
	τ_{2-I8_MUF}	-0,2345	-0,4597
I2, La contaminación del aire no es un problema ambiental serio	γ_{10IUC}	0,0100	0,0190
	τ_{1-I10_MUF}	-2,7365	-3,6318
	τ_{2-I10_MUF}	-2,1052	-2,8680
I3, El diésel es muy costoso y debe ser subsidiado	γ_{10IUC}	1,7068	1,9761
	τ_{1-I10_MUF}	-1,0419	-2,1604
	τ_{2-I10_MUF}	0,2251	0,4339

La Tabla 12 presenta los resultados de las ecuaciones de medición para el modelo MVL2. Los parámetros de las ecuaciones de medición de la variable latente PA presentan signos esperados. Se infiere que los individuos que consideran que las exigencias de emisiones

deben ser menos estrictas no son pro-ambientales, mientras que aquellos que están de acuerdo con los controles rigurosos a las emisiones de los vehículos si lo son.

Con respecto a los resultados de las ecuaciones de medición de la variable latente MUF los resultados muestran que los parámetros estimados no tienen altos niveles de significancia, sin embargo los umbrales estimados son significativamente diferentes entre sí y todos los umbrales superiores (τ_{c+1}) fueron mayores a los umbrales inferiores (τ_c). Además, los signos de los parámetros γ_{ilp} indican orientaciones esperadas de los indicadores con respecto a la variable latente MUF.

5. ANÁLISIS

A partir de los modelos básicos de buses y camiones que ofrecen una buena aproximación de la estructura de demanda de los empresarios de transporte, se calcularon elasticidades directas y cruzadas para los atributos más relevantes considerados en el análisis. De igual forma, se estimaron tasas marginales de sustitución de los atributos con respecto al *costo* de vehículos comerciales y se simularon escenarios para estimar la participación de mercado de vehículos comerciales propulsados con fuentes de energía alternativa bajo condiciones diversas. Debe aclararse que con las simulaciones efectuadas no son indicativas de las condiciones actuales del mercado, sino de condiciones hipotéticas de los atributos de las alternativas, a partir de los modelos derivados de las encuestas de PD. Lo que se busca esencialmente es evaluar el comportamiento de los empresarios de vehículos comerciales y la sensibilidad ante cambios en los atributos considerados.

5.1. Simulación de cuotas de mercado

Se simularon utilidades y cuotas de mercado considerando diferentes escenarios para el costo de adquisición de un bus diésel tipo, manteniendo los atributos restantes con los valores promedios de referencia que se presentan en la Tabla 18. En la Figura 20 se observa que el precio del bus diésel promedio debe estar un 40% por encima de su valor de referencia para que aquellos propulsados con combustibles alternativos tomen una cuota de mercado significativa.

Tabla 18 Valores de referencia de los atributos utilizados para simular cuotas de mercado de buses

Fuente: elaboración propia

	Diésel	GNC	Eléctrico	Híbrido
Costo (10 ⁶ COP)	152,0	199,5	252,7	216,6
Costo/km (COP/km)	726	530	262	568
Porcentaje de potencia (%)	100	85	75	104

En la Figura 21, Figura 22 y Figura 23, se muestran las cuotas de mercado simuladas considerando la variación del *costo* de un bus tipo propulsado por una alternativa de combustible específica con respecto al *costo* del bus diésel. De la Figura 21 se concluye

que el costo de un bus GNC debe ser menor que el 70% del costo de un bus diésel para tener la mayor participación de mercado entre las tecnologías consideradas en el modelo.

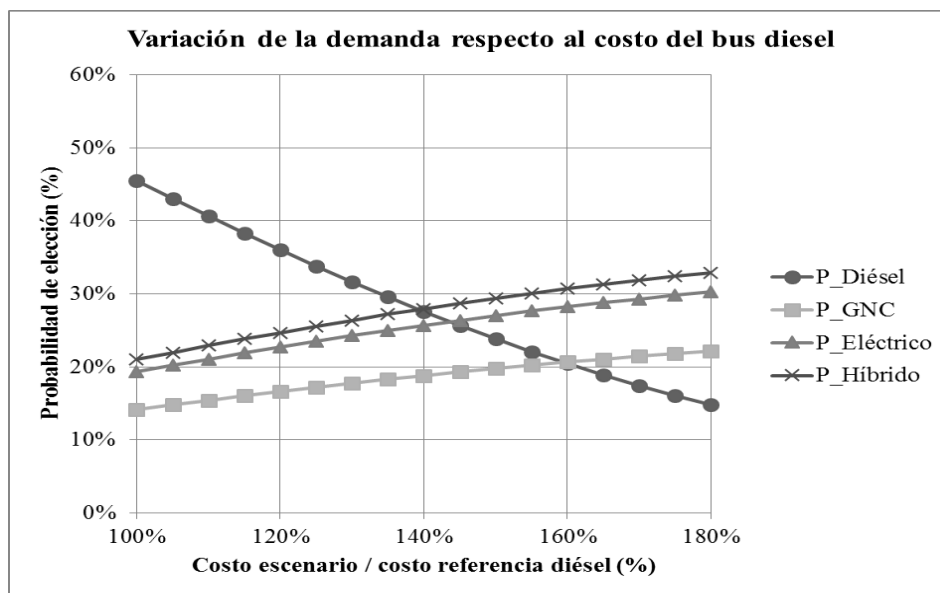


Figura 20 Variación de la demanda con respecto al costo del bus diésel
Fuente: elaboración propia

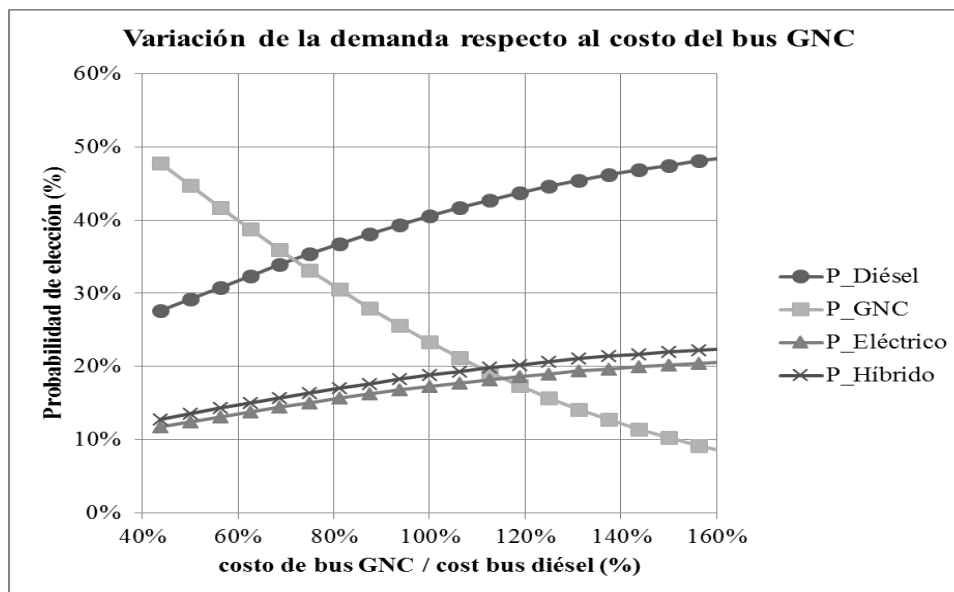


Figura 21 Variación de la demanda con respecto al costo del bus GNC
Fuente: elaboración propia

En el caso del bus eléctrico (Figura 22), se encontró que, en caso de que el costo de esta tecnología sea menor que el 120% del costo del bus diésel, se convertiría en la alternativa con la más alta cuota de mercado.

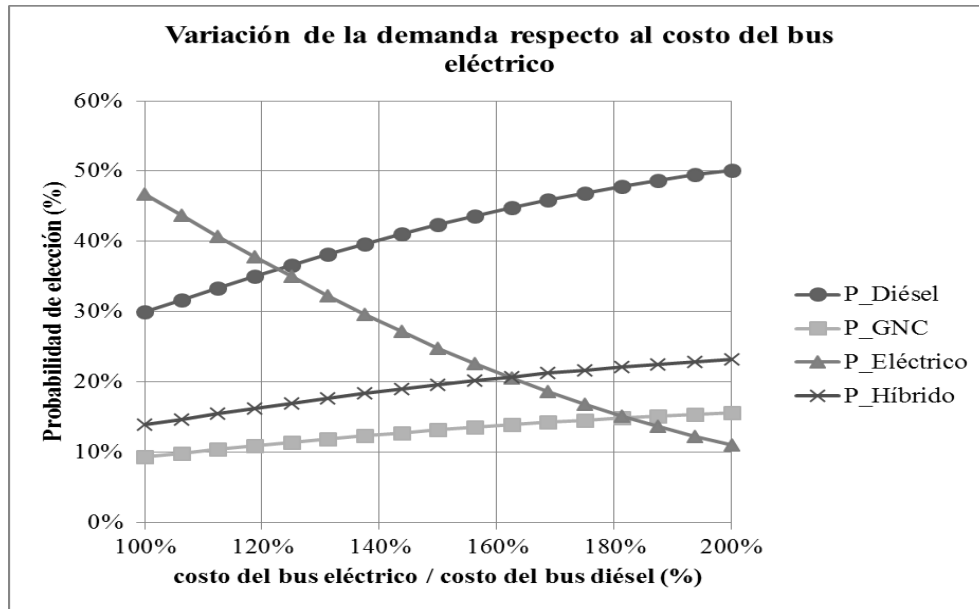


Figura 22 Variación de la demanda con respecto al costo del bus eléctrico
Fuente: elaboración propia

La Figura 23 indica que la mayor probabilidad de elección del bus híbrido se alcanzaría si el costo del mismo fuese igual o menor que el costo del bus diésel. Este resultado indica que en igualdad de condiciones entre estas dos alternativas, los encuestados perciben en el bus híbrido un buen sustituto del bus diésel convencional.

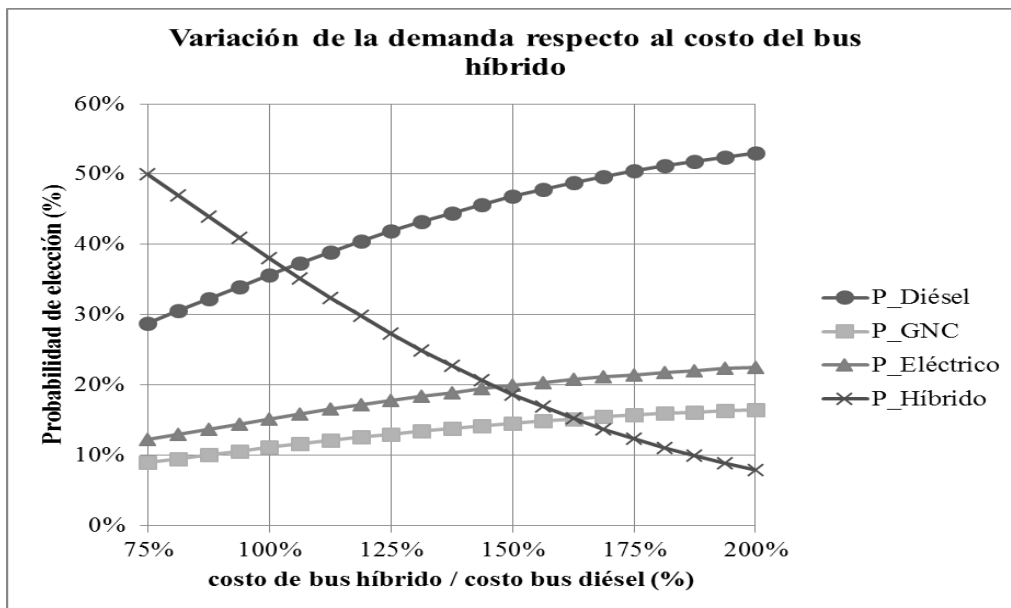


Figura 23 Variación de la demanda con respecto al costo del bus híbrido
Fuente: elaboración propia

Para el caso de los camiones se tomaron valores de referencia del camión de 2 ejes grande para todas las tecnologías (Tabla 19) y se generaron gráficas de participación de mercado simulando variaciones en los costos de las alternativas, las cuales son discutidas en los siguientes párrafos.

Tabla 19 Valores de referencia de los atributos utilizados para simular cuotas de mercado de camiones tipo C2G

Fuente: elaboración propia

	Diésel	GNC	Eléctrico	Híbrido
Costo (10 ⁶ COP)	185,8	232,6	319,4	256,7
Costo/km (COP/km)	817	589	352	565
Porcentaje de potencia	100	85	75	105
Autonomía (km)	539	393,9	252	767,6
Puntos de recarga	1	0,44	0,29	1

A partir de los resultados presentados en la Figura 24 se infiere que si un camión de 2 ejes grande incrementa su costo en aproximadamente un 10%, comienzan a ser competitivas las alternativas tecnológicas consideradas en esta investigación. El camión híbrido, sería el primero en superar la cuota de mercado del vehículo diésel para dicho escenario. A su vez, se puede observar que incluso si el vehículo diésel incrementa su costo hasta en un 70%, esta tecnología mantendría una mayor participación de mercado que el camión eléctrico.

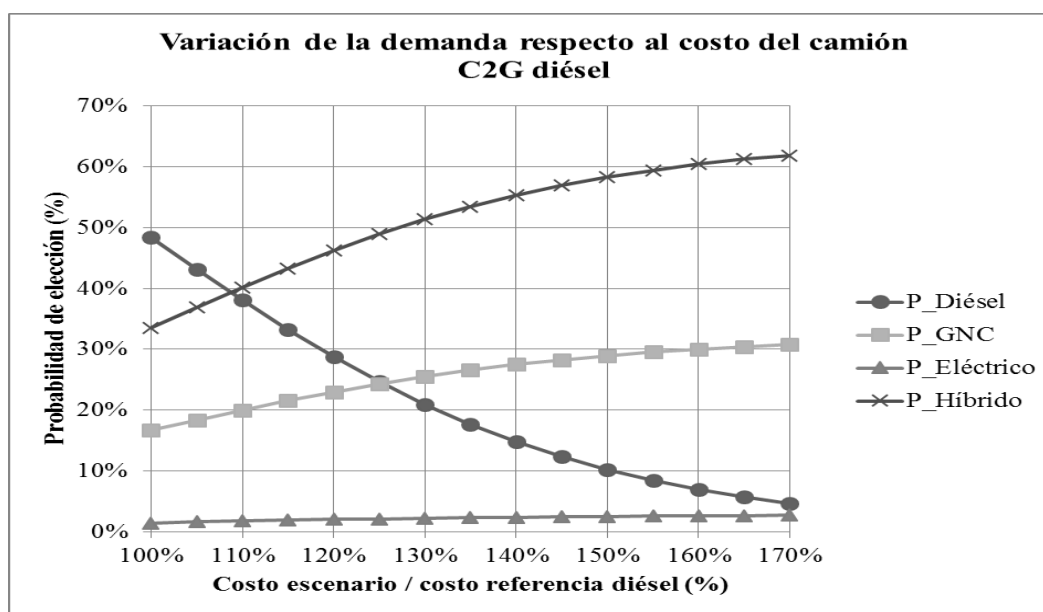


Figura 24 Variación de la demanda en función de la variación del costo del diésel

Fuente: elaboración propia

De los escenarios evaluados en la Figura 25 se puede concluir que si el costo de un camión C2G propulsado por GNC se iguala al precio del camión diésel, estos tendrían la misma cuota de mercado. Por su parte, si el camión GNC costase aproximadamente un 10% más que el camión diésel, tendría la tercera cuota de participación de mercado por debajo del camión híbrido.

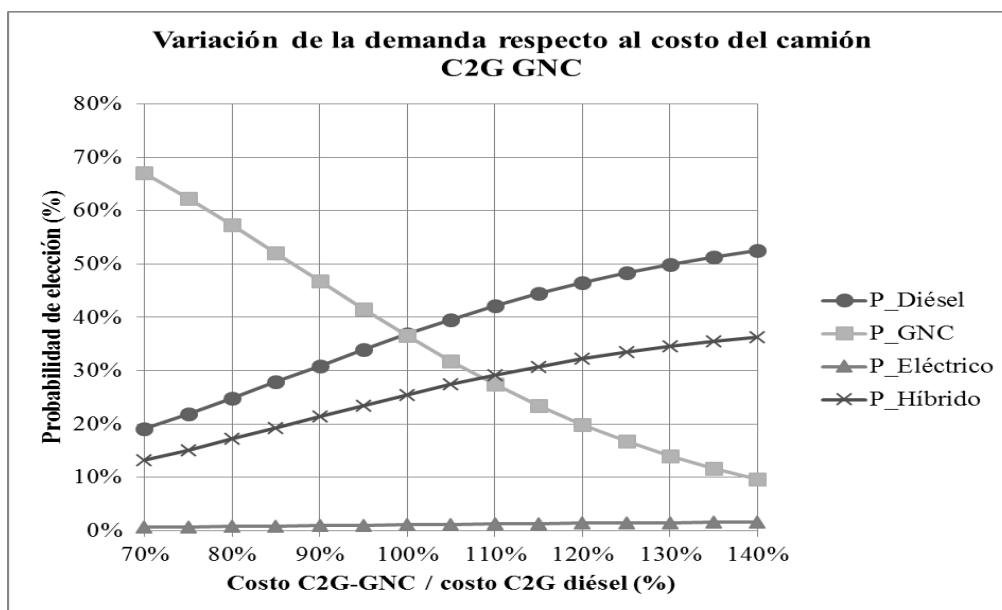


Figura 25 Variación de la demanda respecto al costo del camión GNC
Fuente: elaboración propia

Con respecto al camión eléctrico, éste tendría que tener un costo inferior al 90% del costo del camión diésel, para ser la tecnología de mayor participación en el mercado (Figura 26). Entretanto, si el camión eléctrico tuviera un costo 15% mayor a la alternativa diésel, esta tendría la menor cuota de mercado entre las alternativas disponibles.

La Figura 27 sugiere que si el camión propulsado con tecnología híbrida diésel-eléctrica cuesta hasta aproximadamente un 28% más que el camión diésel, esta sería la alternativa con mayor probabilidad de elección y por lo tanto se esperaría la mayor participación de mercado. Esta tecnología sería una segunda opción de escogencia, incluso con un costo 50% mayor que el del vehículo tipo diésel.

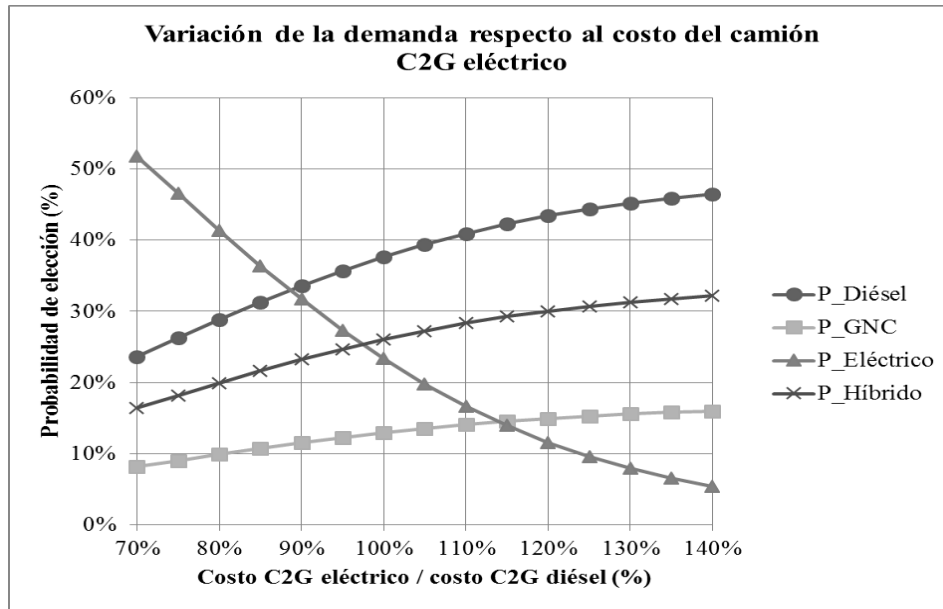


Figura 26 Variación de la demanda respecto al costo del camión eléctrico
Fuente: elaboración propia

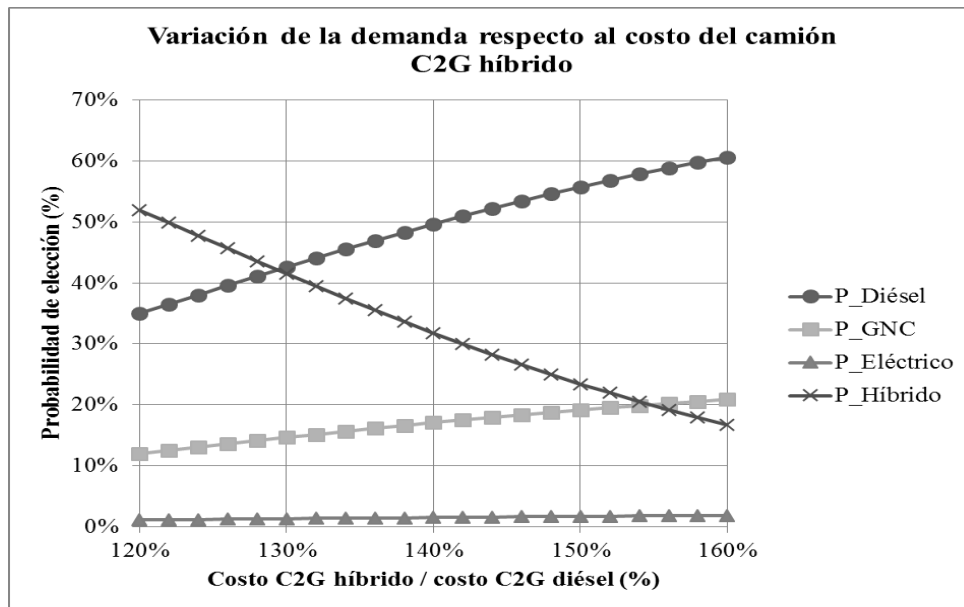


Figura 27 Variación de la demanda respecto al costo del camión híbrido
Fuente: elaboración propia

5.2. Elasticidades

Las elasticidades calculadas a partir del modelo y los datos de buses, se presentan en la Tabla 20. El atributo cuya variación causa el mayor impacto en la probabilidad de elección de cada alternativa es el *costo*. En particular, un aumento del 1% en el costo del bus híbrido provocará una disminución de 2,17% en su cuota de mercado. Por otro lado, si el costo del bus diésel se incrementa en 1%, su cuota de mercado se reducirá en 1,10%. A pesar de que las elasticidades directas con respecto al costo son mayores a 1, las cuales podrían ser consideradas como altas, debe tenerse en cuenta que las cuotas de mercado de los buses propulsados por energías alternativas son actualmente muy modestas. Actualmente, estas tecnologías se encuentran en la zona elásticas de la curva de demanda. En contraste, la elasticidad directa con respecto al costo del bus diésel, el cual tiene la tecnología más posicionada y madura del mercado, es menor que la elasticidad directa de las tecnologías restantes.

La demanda de cada alternativa es menos afectada por las variaciones en el *costo/km*. Las políticas gubernamentales que buscan fomentar el uso de tecnologías de propulsión más limpias, deberían estar orientadas a principalmente en afectar el *costo* y luego en el *costo/km*. Los fabricantes de buses podrían mejorar las tecnologías de buses propulsados por combustibles alternativos para ofrecer niveles de potencia más altos y una mayor eficiencia en términos de consumo de energía (combustible alternativo).

A partir de las elasticidades cruzadas, se puede inferir también que las variaciones en los atributos de buses diésel causan el mayor impacto en la demanda de buses con combustibles alternativos. Un aumento en el costo de la alternativa diésel en 1%, producirá un incremento del 0,88% en la demanda de los buses con combustibles alternativos. Por otro lado, un aumento en el *costo/km* del bus diésel dará lugar a un incremento del 0,56% en la demanda de los autobuses con combustibles alternativos. Los resultados indican que si los entes gubernamentales y fabricantes de vehículos implementan políticas e incentivos apropiados, los buses con combustibles alternativos pueden llegar a ser sustitutos de los buses diésel.

Tabla 20 Elasticidades directas y cruzadas respecto a diferentes atributos del modelo de elección de buses

Fuente: elaboración propia

		Alternativas de buses			
		Diésel	GNC	Eléctrico	Híbrido
Costo	Diésel	-1,097	0,879	0,879	0,879
	GNC	0,384	-2,190	0,384	0,384
	Eléctrico	0,576	0,576	-2,695	0,576
	Híbrido	0,625	0,625	0,625	-2,170
Costo/km	Diésel	-0,694	0,563	0,563	0,563
	GNC	0,137	-0,781	0,137	0,137
	Eléctrico	0,080	0,080	-0,372	0,080
	Híbrido	0,222	0,222	0,222	-0,761
Potencia	GNC	-0,418	2,318	-0,418	-0,418
	Eléctrico	-0,249	-0,249	1,141	-0,249

Las elasticidades directas y cruzadas calculadas para los camiones se presentan en la Tabla 21. De igual forma como se evidenció en las elasticidades del modelo de buses, para este caso el atributo que genera mayor impacto en la probabilidad de elección de camiones es el *costo*. Por ejemplo, un incremento del 1% en el costo del camión híbrido produciría un descenso en su probabilidad de elección de 3,7%. A su vez, si el costo del camión diésel incrementa en 1%, su cuota de mercado se reduciría en 2,26%. En general, el análisis indica que la demanda de camiones es altamente elástica respecto a los costos de compra.

Por su parte, las variaciones en el *costo/km* afectan en menor medida las cuotas de mercado. Un incremento del 1% en el *costo/km* del camión GNC, causaría un descenso en su probabilidad de elección de 0,59%. La tecnología que tendría la menor afectación en su cuota de mercado causada por la variación del *costo/km* es la híbrida.

Las tecnologías GNC y eléctrica muestran ser altamente elásticas con respecto a la potencia al punto que un incremento del 1% en la potencia del camión GNC, produciría un aumento de su probabilidad de elección cercana al 4,7%. A su vez, el mismo incremento porcentual de la potencia en el camión híbrido, generaría un incremento de su probabilidad de elección de aproximadamente 4,8%. Estas elasticidades pueden ser consideradas bastante altas, sin embargo debe tenerse en cuenta que la potencia es una característica bastante

relevante para los propietarios de camiones al momento de elegir una tecnología alternativa como la GNC o Eléctrica. Tal comportamiento se debe a que la competitividad de los camiones depende de su capacidad para transportar grandes cargas, de manera que camiones propulsados por combustibles alternativos con menor potencia útil que la del Diésel, representan para los encuestados equipos menos competitivos en el mercado de transporte de carga.

Al igual que en el caso del buses, las variaciones en los atributos de los camiones con tecnología diésel son las que tienen mayor incidencia en la variación de la probabilidad de elección de las alternativas restantes. Puntualmente, se estima que si el costo del camión diésel incrementa en 1%, las cuotas de mercado esperadas de las alternativas restantes se incrementarían en 2,0%.

Tabla 21 Elasticidades directas y cruzadas respecto a diferentes atributos del modelo de elección de camiones

Fuente: elaboración propia

		Alternativas de camiones			
		Diésel	GNC	Eléctrico	Híbrido
Costo	Diésel	-2,263	2,018	2,018	2,018
	GNC	0,774	-4,452	0,774	0,774
	Eléctrico	0,100	0,100	-3,969	0,100
	Híbrido	1,940	1,940	1,940	-3,748
Costo/km	Diésel	-0,506	0,497	0,497	0,497
	GNC	0,105	-0,594	0,105	0,105
	Eléctrico	0,009	0,009	-0,328	0,009
	Híbrido	0,253	0,253	0,253	-0,505
Potencia	GNC	-0,868	4,660	-0,868	-0,868
	Eléctrico	-0,130	-0,130	4,752	-0,130
Puntos de recarga	GNC	-0,076	0,407	-0,076	-0,076
	Eléctrico	-0,010	-0,010	0,324	-0,010

5.3. Tasas marginales de sustitución

Se calcularon tasas marginales de sustitución entre los atributos más relevantes de buses y camiones como complemento del análisis de los resultados obtenidos para los modelos de elección estimados. Teniendo en cuenta que los modelos estimados de buses y camiones

son lineales en los parámetros, la disposición a pagar por un atributo a con respecto a una variable de costo se calcula como se indica en la ecuación (11).

$$TMS_a = -\frac{\theta_a}{\theta_{costo}} \quad (11)$$

La Tabla 22 muestra las tasas marginales de sustitución calculadas. Se infiere que los empresarios de transporte de carga están dispuestos a pagar COP 90.749 por incrementar en 1 km en la autonomía de un camión, mientras que los propietarios de buses estarían dispuestos a pagar COP 21.628 por el mismo incremento. Es claro que los propietarios de camiones dan más peso a la autonomía que los de buses a la hora de comprar equipos.

Tabla 22 Tasas marginales de sustitución de los atributos con respecto al costo de compra de buses y camiones

	Tipo de vehículo	
	Camiones	Buses
Autonomía	90.749	21,628
Potencia gas	2.854.626	2.496.124
Potencia eléctrico	4.581.498	1.449.612
Costo/km	-51.542	-134.109

Los propietarios de buses estarían dispuestos a pagar COP 2.496.124 por un incremento del 1% en la relación de potencia del bus GNC comparada con la potencia de la alternativa diésel. Mientras tanto, los propietarios de camiones estarían dispuestos a pagar cerca de COP 350.000 más que los propietarios de buses por el mismo incremento en la relación de potencia del camión GNC comparada con la potencia de la alternativa diésel.

Con respecto al *costo/km*, los propietarios de buses estarían dispuestos a pagar COP 134.109 por una reducción de COP 1/km en este atributo, en tanto que los propietarios de camiones pagarían COP 51.452 por la misma reducción en el *costo/km* de los camiones.

6. CONCLUSIONES

Esta investigación presenta una evaluación de la demanda de vehículos comerciales con fuentes energéticas alternativas, la cual permite definir los factores relevantes en la estructura de toma de decisión de los empresarios de transporte de carga y de pasajeros. También han sido estimados modelos involucrando las percepciones y posiciones respecto a temas ambientales y maximizar utilidad de la firma. Los resultados de este estudio representan una contribución relevante a la discusión relacionada con la implementación de tecnologías de propulsión vehicular más limpias para buses y camiones, teniendo en cuenta que la mayoría de la investigación que se ha desarrollado al respecto está orientada al caso de automóviles de pasajeros.

Los modelos de elección con variables latentes han permitido incorporar el efecto de las percepciones de los individuos dentro de la estructura de elección. Los modelos híbridos de elección de vehículos comerciales propulsados por combustibles alternativos representan mejor la estructura de toma de decisión, que los modelos de elección discreta tradicionales. Esta superioridad de los modelos se hace evidente en el incremento de los índices de bondad de ajuste obtenidos en el modelo híbrido.

En los experimento de PD en los cuales se presentan varias situaciones de elección por individuo, se espera que entre las respuestas de un mismo individuo exista correlación, cuyo efecto no es capturado por los modelos de elección simples. La inclusión del efecto panel en los modelos de elección discreta basados en encuestas de PD de varias observaciones ofrece una mejora significativa en la representación de la estructura de elección de los empresarios de camiones y buses a través del modelo estimado.

Los modelos de estimación de la demanda de vehículos comerciales propulsados por fuentes energéticas alternativas sugieren que los atributos más relevantes para los empresarios de transporte son aquellos relacionados con los costos monetarios. Los atributos de costo consideradas en el modelo de demanda fueron *costo* y *costo/km*, cuyos coeficientes resultaron ser significativos para un nivel de confianza superior al 95%, y general disminución de la utilidad percibida.

La *potencia* se mostró como un atributo relevante tanto para los propietarios de camiones como de buses, aunque más en los primeros. El coeficiente estimado para este atributo tiene signo positivo, lo cual es un resultado deseado teniendo en cuenta que se espera que al incrementar la potencia útil de un bus o camión, incremente su utilidad esperada.

Los propietarios de camiones que prestan servicios de transporte de carga con radio de acción nacional consideran importante la disponibilidad de estaciones de recarga al momento de elegir un camión propulsado por GNC. Entre mayor sea la oferta de estaciones de combustible que ofrezcan GNC, mayor será la utilidad esperada de los empresarios por los camiones propulsados por este combustible.

Los encuestados en general evidencian una aversión a la tecnología GNC cuando se compara con las tecnologías Eléctrica, Híbrida y Diésel. Esto puede ser consecuencia de la mala experiencia causada por las conversiones de motores de vehículos comerciales Diésel y de gasolina a GNC. Los resultados sugieren que, *ceteris paribus*, la tecnología Diésel es la más atractiva para los encuestados y que el vehículo Híbrido es considerado como una segunda opción al Diésel convencional, dadas las similitudes entre estas dos tecnologías.

La *autonomía* fue considerada relevante para los propietarios de camiones en general. De acuerdo con los resultados de los modelos no es posible establecer que la *autonomía* sea relevante para los propietarios de buses. Esto se entiende teniendo en cuenta que los buses que prestan servicios de transporte urbano, tienen distancias de recorridos por ciclo inferiores a la menor autonomía ofrecida por las alternativas tecnológicas incluidas en el experimento de PD, y por lo tanto, pueden hacer recargas de combustible en las terminales.

Los encuestados con actitudes pro-ambientalistas, las cuales se relacionan con la conciencia o preocupación ambiental, son más susceptibles de elegir vehículos comerciales propulsados por energías más limpias. Se pudo concluir además que existe cierta relación entre atributos de los empresarios y de la flota de vehículos como la cantidad de vehículos, el porcentaje del parque propio, la posesión de vehículos tipo tracto-camión o bus padrón, la edad promedio de los vehículos, la disposición final de los vehículos antiguos, entre otros que de alguna manera explican las actitudes de preocupación ambiental.

Los resultados obtenidos en el modelo híbrido estimado sugieren que el tamaño de la flota, la prestación de servicios de transporte urbano, la posesión de vehículos tipo tracto-camión o bus padrón, y la implementación de sistemas de gestión de calidad en las organizaciones, son características observadas que se pueden asociar con actitudes de maximizar utilidad de la firma al momento de elegir entre alternativas tecnológicas para vehículos comerciales.

La demanda de buses y camiones es altamente elástica con respecto a los costos de compra, pero no tanto con relación al *costo/km*. A su vez, los resultados indican que los atributos cuya variación generan un mayor impacto en la demanda son los de los buses y camiones Diésel. La demanda de camiones con tecnologías GNC y Eléctrico se muestra altamente elástica con respecto a la *potencia*, teniendo en cuenta que incrementos de este atributo en un 1% causarían un aumento aproximado del 4,7% en la probabilidad de elección de estas tecnologías. Este resultado puede parecer bastante alto a primera vista; sin embargo, debe tenerse en cuenta que los empresarios de transporte de carga consideran la potencia útil del vehículo como un atributo importante ya que de esto depende la competitividad de sus equipos en el mercado de transporte de carga. En el caso de buses con estas mismas tecnologías de propulsión, un aumento del 1% en la potencia causaría un incremento en la cuota de mercado del bus GNC y del eléctrico del 2,3% y del 1,1% respectivamente. Como puede notarse, este atributo es menos influyente para los propietarios de buses.

Para fomentar el cambio de las tecnologías de buses de combustibles convencionales hacia otros más limpios es necesaria la implementación de políticas y estímulos apropiados que afecten de manera efectiva la demanda por las tecnologías limpias. Teniendo en cuenta que las variables relacionadas con el costo son las más relevantes para los encuestados, políticas apropiada podrían ser: reducir o subsidiar el costo de los combustibles alternativos (GNC, electricidad), el incremento de los impuestos a los combustibles Diésel convencional, y el subsidio de los costos de compras de vehículos con tecnologías limpias o la reducción de los impuestos de los mismos. Para el caso de buses, las tecnologías Híbridas deberían tener un subsidio del costo cercano al 30% para ser la tecnología más escogida entre las alternativas consideradas en esta investigación. Por su parte, las tecnologías Eléctrica y GNC requerirían subsidios al costo del orden del 28% y 47% respectivamente. En el caso de los camiones, los subsidios a los costos de las tecnologías alternativas al diésel

convencional para que éstas tengan la mayor participación de mercado sobre las demás serían del 20% para el GNC, 51% para la tecnología Eléctrica y 7,5% para la tecnología Híbrida. Esta última requeriría el menor esfuerzo económico de parte del estado para incrementar su tasa de elección por encima de las alternativas energéticas restantes.

Los fabricantes y distribuidores de vehículos comerciales, con el propósito de incentivar el interés y promover el cambio a tecnologías más limpias, pueden ofrecer información sobre estas a través de foros, campañas informativas, demostraciones en campo y pruebas de manejo. Estas estrategias podrían contraatacar los efectos causados por las malas experiencias que los propietarios de buses tuvieron con las conversiones de diésel y gasolina a GNC. En particular, los fabricantes deben hacer énfasis en exaltar las características de la potencia útil, autonomía y confiabilidad de las tecnologías de propulsión.

Futuras investigación en la línea de trabajo de este proyecto pueden incluir la aplicación de encuestas de preferencias reveladas (PR) para estimar modelos de elección combinando datos de PD y PR. También se puede evaluar la incidencia de atributos relacionados con la frecuencia de mantenimientos, servicio postventa, costos de mantenimiento y valor de los impuestos vehiculares. Con relación a las percepciones, se puede incluir el efecto de actitudes como la confiabilidad en las nuevas tecnologías vehiculares.

7. REFERENCIAS

- Ardila A. Study of urban public transport conditions in Bogotá (Colombia). Draft Report for World Bank. Bogotá, 2005.
- Beer T, Grant T, Williams D, Watson H. Fuel-cycle greenhouse gas emissions from alternative fuels in Australian heavy vehicles 36:753-763, 2002.
- Behrentz, E. Beneficios ambientales asociados con el uso de combustibles alternativos. Centro de investigaciones en ingeniería ambiental. Universidad de los Andes. Memorias del círculo interdisciplinario de temas ambientales (CITA). Bogotá, 2008.
- Ben-Akiva, M., McFadden, D., Walker, J., Bhat, C., Bierlaire, M., Bolduc, D., Boersch-Supan, A., Brownstone, D., Bunch, D., Daly, A., De Palma, A., Gopinath, D., Karlstrom, A. y Munizaga, M. Hybrid choice models: progress and challenges. Marketing Letters 13:3, 163-175, 2002.
- Caultfield, B., Farrell, S., McMahon, B, Examining individuals preferences for hybrid electric and alternatively fuelled vehicles. Transport Policy 2010; 17(6): 381-387.
- ChoiceMetrics (2012) Ngene 1.1.1 User Manual & Reference Guide, Australia.
- Farrell, A., Keith, D y Corbett, J. A strategy for introducing hydrogen into transportation. Energy Policy 31(13): 1357-1367, 2003.
- Golob, T., Torous, J, Bradley, M., Brownstone, D., Soltani, S., Bunch, D. Commercial fleet demand for alternative-fuel vehicles in California. Transportation Research A 1997; 31(3): 219-233.
- Gota, S., Bosu, P., Anthapur, S. Improving fuel efficiency and reducing carbon emissions from buses in India. Journal of Public Transportation 2014; 17(3): 39-50.
- Goyal P, Sidhartha. Present scenario of air quality in Delhi: a case study of CNG implementation 37:5423-5431, 2003.

Hekkert, M.P., Hendriks, F., Faaij A., Neelis M.L. Natural gas as an alternative to crude oil in automotive fuel chains well-to-wheel analysis and transition strategy development. *Energy Policy* 2005; 33(5): 579-594.

Hensher, D., Louviere, J, y Swait, J. Combining sources of preference data. *Journal of Econometrics* 89, 197-221, 1999.

Kado NY, Okamoto RA, Kuzmicky PA, Kobayashi R, Ayala A, Gebel ME, Rieger PL, Maddox C, Zafonte L. Emissions of toxic pollutants from compressed natural gas and low sulfur diesel-fueled heavy-duty transit buses tested over multiple driving cycles 39:7638-7649, 2005.

Kash, G., Hidalgo, D. The promise and challenges of integrating public transportation in Bogotá, Colombia. *Springer* 2014; 6(1-2): 107-135.

Khan, M., Yasmin, T, y Shakoar, A. Technical overview of compressed natural gas (CNG) as a transportation fuel. *Renewable and sustainable energy reviews* 51: 785-797, 2015.

Litman, T.E., Delucchi, M.A. A retail and lifecycle cost analysis of hybrid electric vehicles. *Transportation Research D* 2006; 11(2): 115-132.

Mattosn, J. Use of alternative fuels and hybrids by small urban and rural transit. *Journal of Public Transportation* 2012; 15(3): 43-59.

McFadden, D. Economic Choices. *American Economic Review* 2001; 91(3): 351-378.

Ministerio de Transporte. Transporte en cifras - documento estadístico del sector transporte, versión 2011. Colombia, 2011.

Ministerio de Transporte. Transporte en cifras – estadísticas 2014. Colombia, 2014.

OECD. Transport and Environment Background Report and Survey of OECD, IEA and ECMT Work, París, 1997.

Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L.G., *Modelling Transport* 4ed, John Wiley and Sons., Inc. Chichester, 2011.

P.Y. Loo, B., Wong, S.C., Hau, T. Introducing alternative fuel vehicles in Hong Kong: views from the public light bus industry. *Transportation* 2006; 33(6): 605-619.

Parker, R.S., Fletchall, H., Pettijohn, C.E. Truck Operators' Perspective on use of Alternative Fuels. *Transportation Research E* 1997; 33(1): 73-78.

Potoglou D, Kanaroglou P, Disaggregate demand analyses for conventional and alternative fueled automobiles: a review. *International Journal of Sustainable Transportation* 2008; 2(4): 234-259.

Romm J. The car and fuel of the future 34:2609-2614, 2006.

Saxe, M., Folkesson, A., Alvfors, P. A follow-up and conclusive report on the attitude towards hydrogen fuel cell buses in the CUTE project – From passengers in Stockholm to bus operators in Europe. *International Journal of Hydrogen Energy* 2007; 32(17): 4295-4305.

Schweitzer, L., Brodrick, C., Spivey, S.E. Truck driver environmental and energy attitudes – an exploratory analysis. *Transportation Research Part D* 2007; 13(3): 141-150.

Soto, J., Cantillo, V, Arellana, J, Hybrid choice model for alternative fuelled vehicles, *Interciencia* 2014; 39(9), 2014.

TRAIN, K. *Discrete Choice Methods with Simulation*, 2ed, Cambridge University Press, Cambridge, 2009.

Tzeng Gwo, Lin Cheng, Opricovic Serafim. Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. *Energy Policy* 33. Pp. 1373-1383, 2004.

UPME. *Proyección de Demanda de Combustibles Líquidos y GNV en Colombia*. Unidad de Planeación Minero Energética – Grupo de Demanda Energética. Ministerio de Minas y Energía: Bogotá, 2012.

UPME. *Transporte: energía y cambio tecnológico 2012-2040*. Unidad de Planeación Minero Energética. Infografía consultada en www.upme.gov.co/demanda-y-eficiencia-energetica el 04/02/2016.

Walker, J. Extended Discrete Choice Models: Integrated Framework, Flexible Error Structures, and Latent Variables. Tesis doctoral. Massachusetts Institute of Technology, 2001.

Wang X, Avila-González J, Assessing feasibility of electric uses in small and medium-sized communities. *International Journal of Sustainable Transportation* 2013; 7(6): 431-448.

Xian, H., Karali, B., Colson, G., y Wetzstein, M. Diesel or compressed natural gas? A real options evaluation of the U.S. natural gas boom on fuel choice for trucking fleets. *Energy* 90: 1342-1348, 2015.

Yeh, S. An empirical analysis on the adoption of alternative fuel vehicles: The case of natural gas. *Energy Policy* 2007; 35(11): 5865-5875.